

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Predikce technického stavu stěžejních součástí  
systému a identifikace problémů

Prediction of the Technical State of the Key  
Components of the System and Identification of the  
Problems

Student:

Bc. Josef Vaněk

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Josef Vaněk**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma: **Predikce technického stavu stěžejních součástí systému a identifikace problémů**  
**Prediction of the Technical State of the Key Components of the System and Identification of the Problems**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Aplikace multiparametrických metod umožňuje eliminaci chybného určení diagnózy stroje, resp. vhodně zvolené metody technické diagnostiky umožňují vysokou spolehlivost při odhalení vznikajících poruch již v jejich zárodku. Zvolte proto vhodné nástroje multiparametrické diagnostiky a aplikujte je při určování technického stavu vstříkovacích lisů. V rámci diplomové práce se zabývejte problematikou týkající se vstříkovacích lisů, dále se zabývejte problematikou možností identifikace vznikajících závad. Zhodnoťte možnosti použití a výsledky jednotlivých metod při jejich aplikaci. Změřená data analyzujte a proveďte následná vyhodnocení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte potřebná měření.
5. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU

Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.


ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15.5.2018

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Josef Vaněk

Adresa trvalého pobytu autora práce: Nedašov 97, 763 32 NEDAŠOV

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. VANĚK, J. *Predikce technického stavu stěžejních součástí systému a identifikace problémů. 2018. 64 s.* Diplomová práce na Fakultě strojní VŠB-Technické univerzity Ostrava na katedře výrobních strojů a konstruování. Vedoucí práce Ing. Blata, J., Ph.D.

Diplomová práce se zabývá zjišťováním technického stavu strojů Maplan, Desma a porovnáním se strojem Rep ve firmě SumiRiko AVS Czech s.r.o. Drnovice. Cílem práce je zhodnotit stav výše uvedených strojů s využitím metod technické diagnostiky a určit doporučení pro budoucí provoz. Praktická část se zaměřuje na analýzu olejového média a pomocí tribodiagnostických rozborů hodnotí parametry maziva a jeho degradaci. Dále se provede experiment s teplotně odolným olejem, který prokáže, jak se v čase mění jeho stav. Pomocí vibrodiagnostiky se analyzují vibrační signály. Na základě výsledků a následného vyhodnocení se zvolí vhodná doporučení.

Klíčová slova: Vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika, technický stav, teplotně odolný olej.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

Bc. VANĚK, J. *Prediction of the Technical State of the Key Components of the System and Identification of the Problems. 2018. 64 p.* The diploma thesis from the faculty of mechanical engineering VŠB-Technical university of Ostrava of department production machines and design. Supervised by Ing. Blata, J., Ph.D.

The diploma thesis deals with the technical state of the machines Maplan, Desma and comparing with the Rep machine at SumiRiko AVS Czech s.r.o. Drnovice. The aim of the thesis is to evaluate the state of the above-mentioned machines using technical diagnostic methods and to determine recommendations for future operation. The practical part focuses on the analysis of the oil medium and evaluates the parameters of the lubricant and its degradation by means of tribodiagnostic analyzes. In addition, an experiment with a heat-resistant oil is performed to show how its status changes over time. Vibration signals are analyzed by vibro-diagnostics. Based on results and subsequent evaluation, appropriate recommendations will be selected.

Key words: Vibrodiagnostics, tribodiagnosics, thermodiagnosics, technical conditions, Thermally loaded oil.

**OBSAH:**

Seznam použitých značek a symbolů.....	9
1. Úvod.....	10
2. Základní informace o firmě a strojích.....	11
2.1 Firma SumiRiko AVS Czech s.r.o. ....	11
2.2 Popis strojů Maplan, Desma, Rep .....	13
2.3 Teplonosný olej .....	18
3. Technická diagnostika a její metody.....	19
4. Multiparametrická diagnostika.....	20
4.1 Termodiagnostika.....	20
4.2 Rozbor olejové náplně.....	21
4.2.1 Odběr vzorku.....	21
4.2.2 Analýza olejů v laboratoři .....	22
4.3 Tribodiagnostické rozborů hydraulického oleje.....	26
4.3.1 Spektrální analýza hydraulického oleje – FT-IR spektrometrie.....	27
4.3.2 Zkoumání celkového znečištění mikroskopicky .....	28
4.4 Tribodiagnostické rozborů teplonosného oleje .....	29
4.4.1 Vyhodnocení výsledku analýzy teplonosných olejů .....	29
4.4.2 Spektrální analýza teplonosného oleje – FT-IR spektrometrie .....	31
4.4.3 Zkoumání celkového znečištění mikroskopicky .....	34
4.4.4 Funkční model u vstřikovacího lisu Rep.....	36
4.5 Experiment s teplonosným olejem .....	38

4.5.1 Referenčního oleje v otevřeném kelímku.....	38
4.5.2 Referenčního oleje v uzavřeném kelímku .....	43
4.6 Vibrodiagnostika .....	47
4.6.1 Úvod do problematiky.....	47
4.6.2 Vstřikovací lis Maplan 10 (1998).....	49
4.6.3 Vstřikovací lis Maplan 8 (2007).....	51
4.6.4 Vstřikovací lis Maplan 7 (2007).....	54
5. Závěr .....	58
Seznam použité literatury .....	63
Seznam příloh.....	64



## Seznam použitých značek a symbolů

s. r. o.	společnost s ručením omezeným
obr.	obrázek
tab.	tabulka
např.	například
atd.	a tak dále
fp	frekvence pístu
μm	mikrometr [ $1\ \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6}\ \text{m}$ ]
vRMS	efektivní hodnota rychlosti vibrací [ $\text{mm.s}^{-1}$ ]
aRMS	efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
RPM	otáčková frekvence [ $\text{ot.min}^{-1}$ ]
cca	přibližně
KOH	hydroxid draselný
TAN	číslo celkové kyselosti
TBN	číslo celkové alkality
ČSN	česká technická norma
ISO	International Standard Organization
FT-IR	infračervená spektrometrie

## 1. Úvod [2]

Tato diplomová práce vznikla ve vzájemné spolupráci s firmou SumiRiko AVS Czech s.r.o. Drnovice, která je přímým dodavatelem anti-vibračních komponent do automobilek Škoda, Audi, Volkswagen, BMW, Mercedes–Bens, a dalších.



*Obr. 1 – Výrobní závod SumiRiko AVS Czech [2]*

V mé diplomové práci budu zkoumat technický stav vybraných vstřikovacích lisů, které zpracovávají směs pro výrobu pryže. Nejdřív se zaměřím na čerpadlo s elektromotorem, odkud odeberu hydraulický olej, který budu testovat v laboratoři. Ze zkušeností z mé bakalářské práce změřím i vibrace přístrojem ADASH VA4 PRO. Ty totiž byly hlavním ukazatelem stavu opotřebení. Následně pak budu porovnávat aktuálně naměřená data s daty z minulých let, abych mohl predikovat životnost strojů.

V další části se budu zabývat dílčí jednotkou vstřikovacího lisu, která se nazývá plastikační jednotka. V ní proudí médium, které jednotku udržuje na provozní teplotě. Teplonosný olej v plastikační jednotce rychle degraduje a ztrácí své vlastnosti. Toto způsobuje velké problémy, protože v okruhu dochází k tvorbě úsad, kterými je pak zanesen především výměník. První prozkoumám okruh IR termokamerou, poté odeberu vzorky olejů pro tribodiagnostické rozbor.

Pomocí experimentu provedu testy teplonosného olej v laboratorních podmínkách při teplotě 150 °C. Test provedu v otevřeném i uzavřeném kelímku, aby se zjistil následek vlivu atmosférického tlaku na médium.

Na závěr se provede vyhodnocení a doporučení k technickému stavu strojů.

## 2. Základní informace o firmě a strojích

### 2.1 Firma SumiRiko AVS Czech s.r.o. [2]

Společnost má velkou historii, v prvopočátku firma WOCO GmbH, založená roku 1956, která zpracovávala gumu a plastickou hmotu, založila v roce 1995 firmu Anvis AVT s. r. o.



*Obr. 2 – Staré haly Anvisu AVT v Drnovicích [2]*

V počátcích se firma zabývala pryžovými díly do elektrotechnických, stavebních a optických strojů. Jejím cílem nebylo jen stát se dodavatelem pro automobilový průmysl, ale být i vývojovým společníkem.

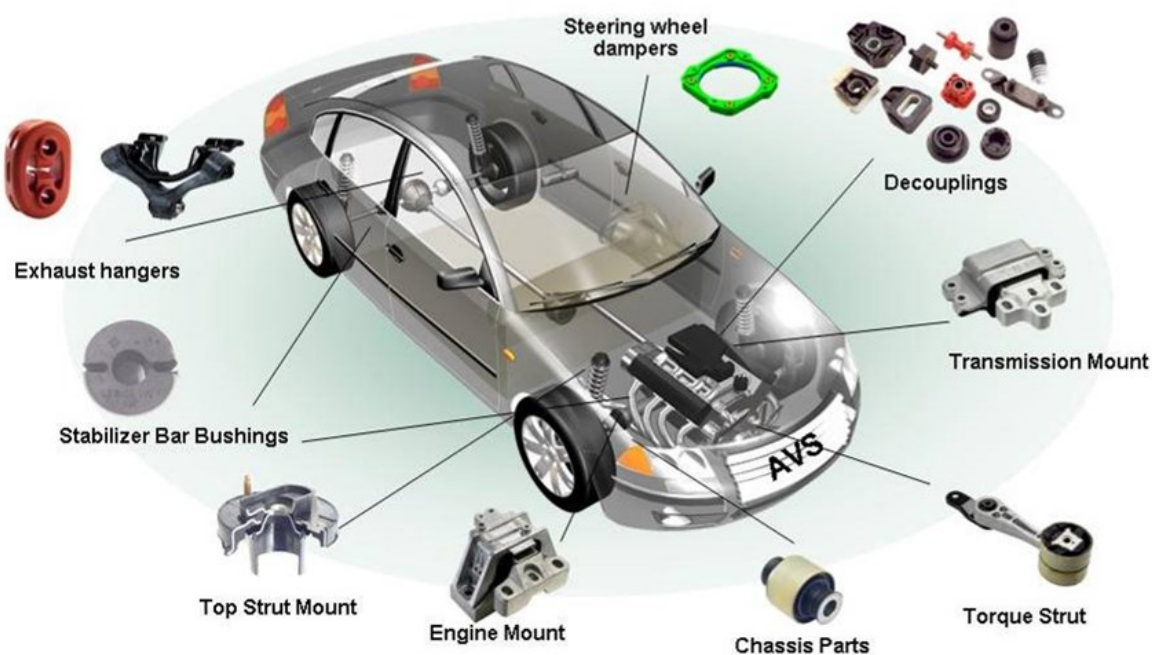
Než se firma začala zabývat výrobou komponentů do automobilů, vyráběla komponenty pro bílou techniku a stavební průmysl. U praček se jednalo o napouštěcí, odtokové, odvzdušňovací hadice a manžety do dveří. Ve stavebnictví se vyráběly pryžové manžety pro spojení kanalizačního potrubí.

Od roku 2003 společnost vyráběla ve větší míře komponenty pro automobilový průmysl, a to gumové pružiny pro uložení převodového ústrojí a držák katalyzátoru.

Koncem roku 2005 a v následujícím roce 2006 proběhlo přesunutí výroby automobilových komponent ze sesterské společnosti. Tento krok přinesl firmě prudké navýšení obrátů.

Roku 2013 se společnost stala jednou z největších koncernů pro výrobu antivibračních komponentů, protože prosadila myšlenku štihlé výroby a prodala všechny podíl japonské firmě TOKAI.

S pryžovými výrobky má firma zkušenosti již přes 20 let. Je přímým dodavatelem do automobilek ŠKODA, VW, AUDI, BMW, MERCEDES – BENZ, atd.



Obr. 3 – Komponenty do automobilu [2]

## 2.2 Popis strojů Maplan, Desma, Rep [2], [4]

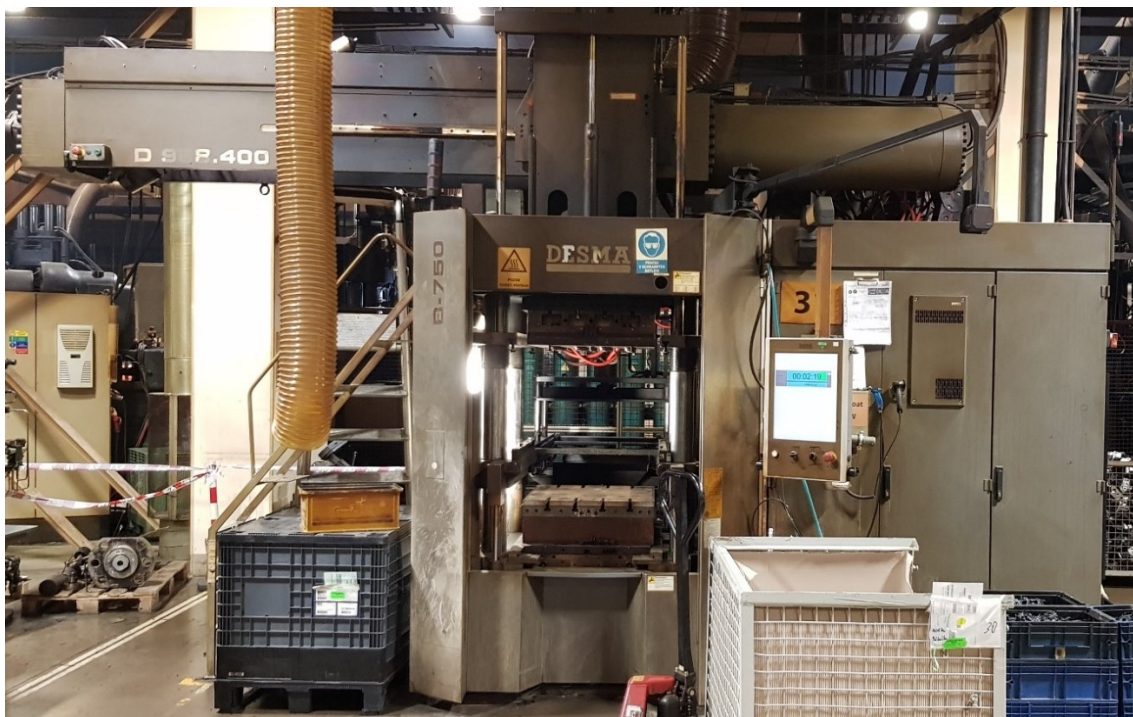
Je důležité, aby plastikační jednotka měla správnou teplotu, jinak by se směs správně nenaplastikovala. Směs musí jít "lehce" plastikovat. Čím bude vyšší teplota v jednotce, tím se bude lépe plastikovat, ale při překročení horní hranice (cca 115 °C) bude směs degradovat přímo ve šnekovém mechanismu, ztvdne a ucpe se jednotka. Pokud by byla teplota nižší než požadovaná, nedošlo by ke správnému nástřiku.

Teplonosný olej se zkoumal u strojů: Desma 24, Desma 31, Desma 32 a Maplan 9/1, Maplan 37. Na závěr pro srovnání jsem zkoumal vzorky oleje i ze vstřikovacího lisu Rep 41, Rep 43.

Níže můžeme vidět foto snímek celého stroje. Také je zachycena oblast zařízení, kterou jsem zkoumal včetně technických parametrů.

Dále je zobrazena schematicky zobrazena klíčová část strojů Maplan i Desma. Hlavní rozdíl je v umístění zahřívání. U stroje Maplan je topná spirála přímo v olejové nádrži, zatímco u stroje Desma je zvlášť topné zařízení.

Na závěr je patrné schéma s foto vstřikovacího lisu Rep, u kterého je jiný princip temperace a neobjevuje se problém s přepalováním a následnou karbonizací oleje.



Obr. 4 – Vstřikovací lis Desma [autor]



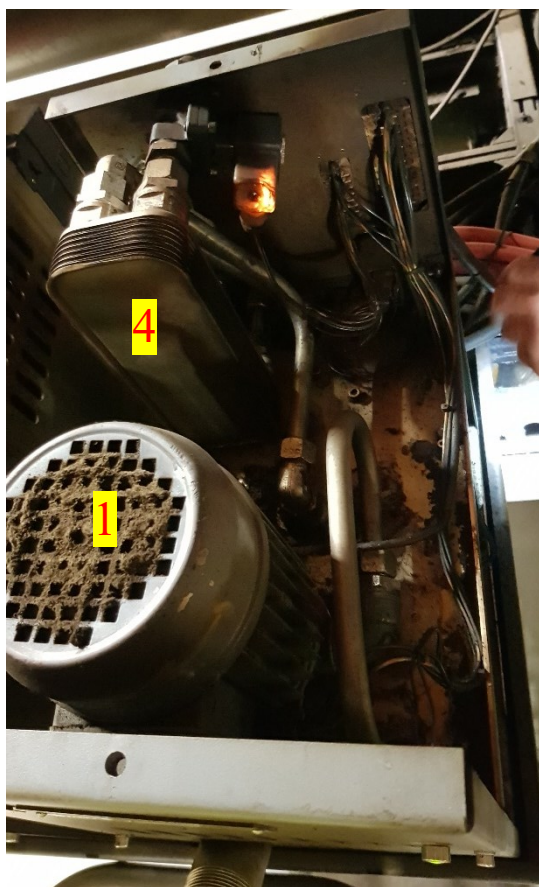
Tab. 1 – Tech. par. topného ústrojí

**Technické parametry topného ústrojí  
Desma**

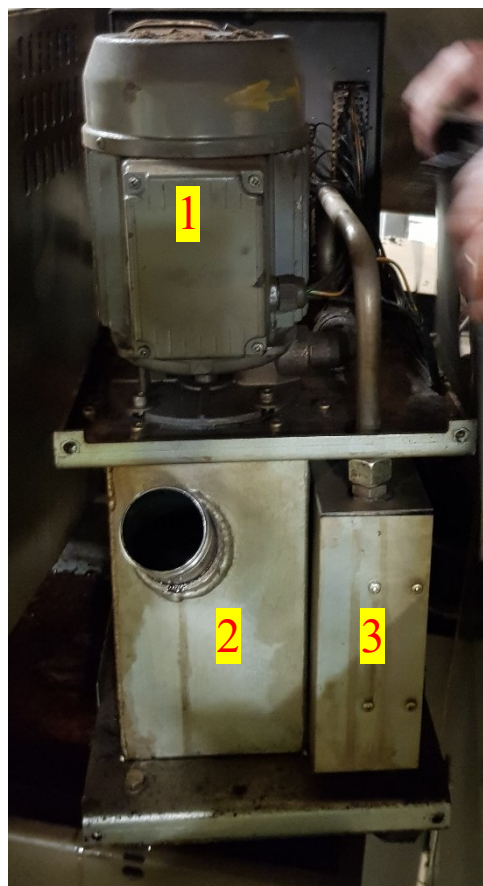
<b>Rok výroby</b>	2012
<b>Chladicí výkon</b>	27 kW
<b>Max. průtok</b>	60 l/ min
<b>Max. teplota</b>	140 °C
<b>Max. tlak</b>	6 bar
<b>Topení</b>	230 V    4,5 kW
<b>Hmotnost</b>	53 kg



Obr. 5 – Topné ústrojí 1 [autor]

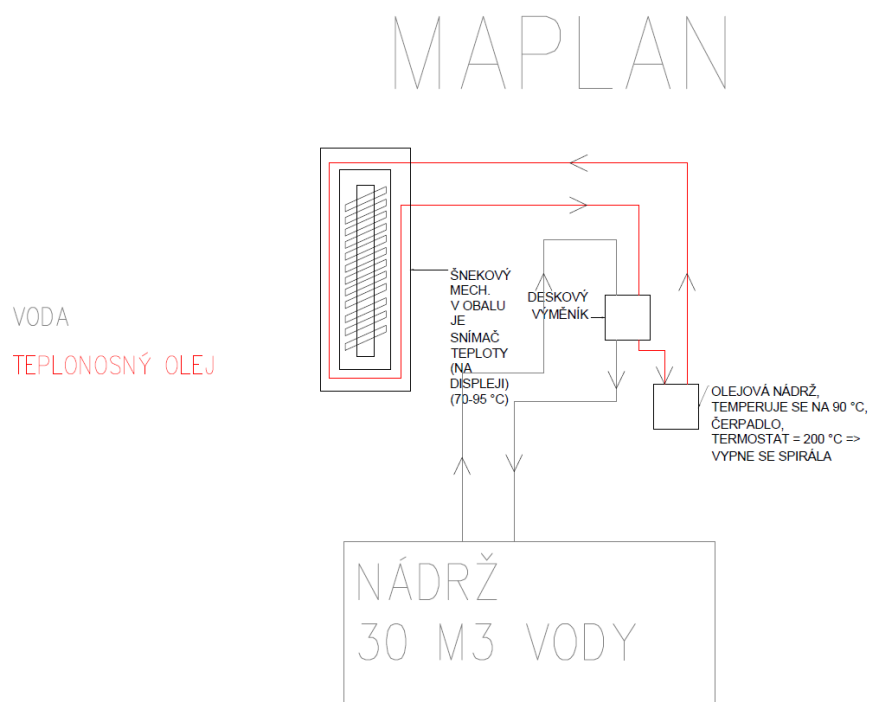


Obr. 6 – Topné ústrojí 2 [autor]

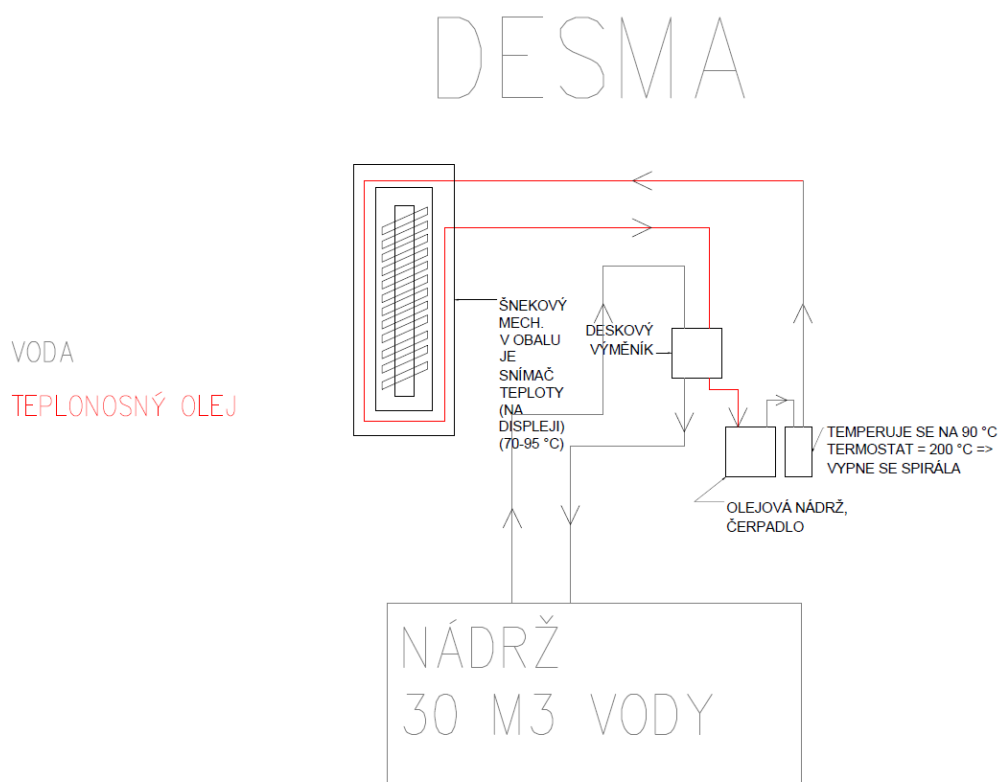


Obr. 7 – Topné ústrojí 3 [autor]

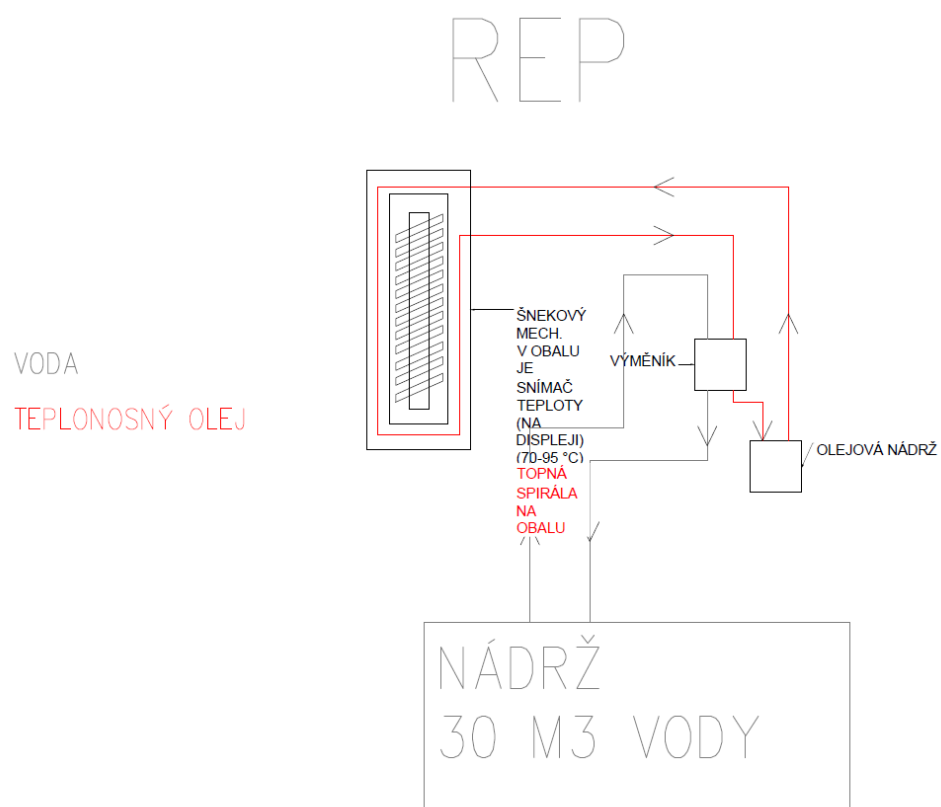
1 – el. motor, 2 – hydrogenerátor/olejová nádrž, 3 – vyhřívání, 4 – deskový výměník



Obr. 8 – Schéma Maplan [autor]



Obr. 9 – Schéma Desma [autor]



Obr. 10 – Schéma Rep [autor]



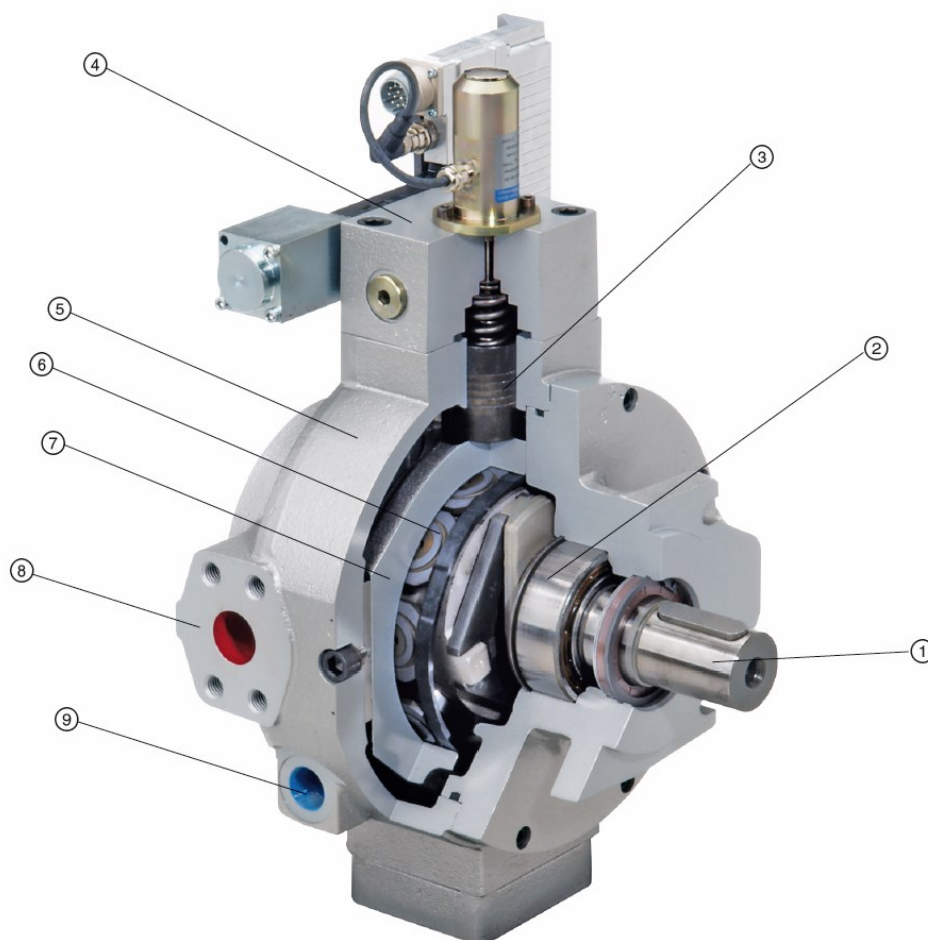
Obr. 11 – Vstřikovací lis Rep [autor]



### Měření stroje hydraulického oleje a vibrací

Měření jsem provedl u dvou vstřikovacích lisů: Maplan 7, Maplan 8. Oba v mé bakalářské práci reprezentovali dobrý stav stroje. Tyto stroje jsem podrobil analýze vibrací i tribodiagnostickým rozborům. Oba lisy obsahují pístové čerpadlo, jehož řez společně s jeho hlavními částmi můžeme vidět níže na obrázku 12.

1 – hnací hřídel, 2 – ložisko, 3 – ovládací píst, 4 – kompenzátor, 5 – pouzdro, 6 – obložení spojky, 7 – kluzný posuvný kroužek, 8 – SAE připojení, 9 – odtokový kanál



Obr. 12 - Radiální pístové čerpadlo RKP-II [4]

## 2.3 Teplonosný olej [3]

Tento olej slouží pro udržování konstantní teploty, chlazení a zahřívání. Oproti vodě, která je též rozšířená pro účely teplonosného média, mají oleje výhodu antikoroze v okruhu a hraničních teplotách, protože jsou schopny pracovat pod bodem mrazu, i nad 300 °C.

Dle DIN 4754

Teplonosným zařízením můžeme považovat zařízení, které v uzavřeném oběhu a teplo je vedeno ohřívacem. K místu určenému se teplonosný olej přivádí přirozeně nebo nuceně oběhem a zpět k dalšímu ohřevu.

Ohříváč je zařízení, které vytápí elektricky, plamenem nebo spaliny.

Přípustnou provozní teplotou rozumíme nejvyšší možnou teplotu media, která je stanovena z bezpečnostních důvodů.

Teplota filmu se definuje teplotou stěny na straně teplonosného media. Pokud jsou stěny ohřívány nebo chlazené, teplota se značně liší oproti teplonosnému médiu.

Roztažnost oleje je dána koeficientem 0,064 obj.% / K.

Toto médium je velmi namáháno teplotou i oxidací. V teplonosném oleji se pak vytváří karbon, kaly, oxidační produkty, pryskyřice a jiné. Tyto látky brání ke správnému přenosu tepla, protože zanáší celý obvod. U teplonosných olejů je velmi doporučováno chemicky čistit systém, a to zejména při výměně oleje.

### 3. Technická diagnostika a její metody [5], [6]

Technická diagnostika sleduje a vyhodnocuje stav stroje za jeho provozu. Je dobré a v praxi ověřené používat více metod současně (multiparametrická diagnostika), aby se stroje mohly hodnotit z více aspektů.

#### **Tribodiagnostika**

- a) Z nečistot maziva se určí stav opotřebení strojních součástí. Tyto otěrové prvky se hodnotí podle velikosti tvaru.
- b) Sleduje se kvalita maziva i jeho samotná degradace, hodnotí se fyzikálně chemické parametry. V závislosti na čase se zhoršují mazací vlastnosti a přichází degradace.

#### **Vibrodiagnostika**

Diagnostickým parametrem jsou vibrace. U rotujících částí se dají stanovit informace o skutečném technickém stavu stroje. Jakýkoli vibrační signál je nositelem informace o původu vzniku vibrace.

#### **Termodiagnostika**

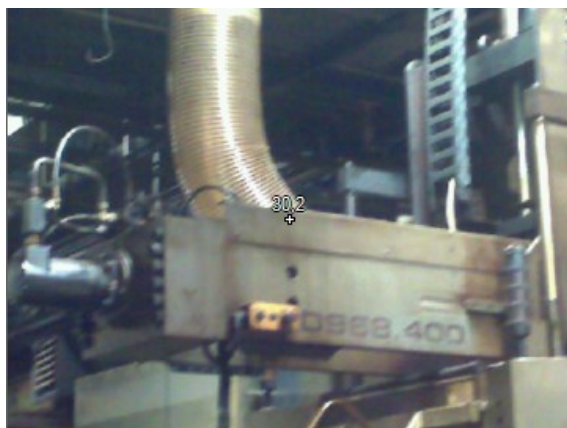
Pro sledování stavu se používá parametr teploty. Je výhodná do míst, kde dochází k pasivním ztrátám, což má za následek sníženou účinnost a tvorbu nového tepelného zdroje. Měří se vnější i vnitřní teploty zdroje, v časově proměnné nebo ustálené podobě.

## 4. Multiparametrická diagnostika

### 4.1 Termodiagnostika

Je to rychlá a efektivní metoda pro zjištění okamžitého stavu zařízení, obrovskou výhodou je bezkontaktnost.

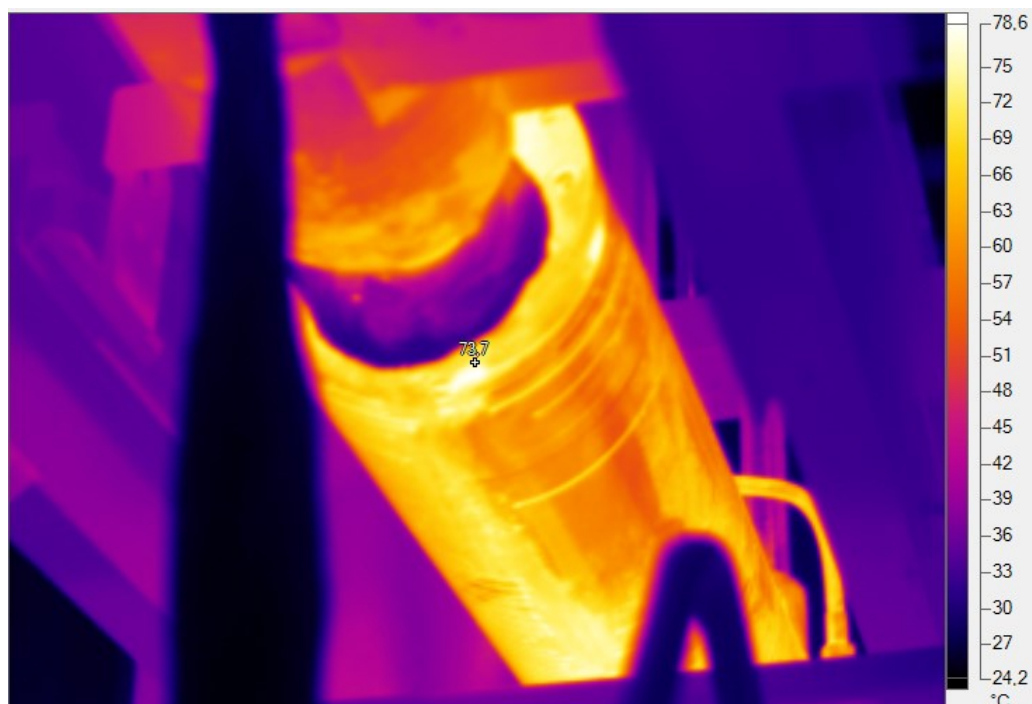
Pomocí IR termokamery jsem zkoumal obvod, ale žádný problém se neukázal, povrchová teplota plastikační jednotky nebyla vyšší než 100 °C, nebylo objeveno místní přehřívání.



Obr. 13 – Termosnímek 1 [autor]



Obr. 14 – Termosnímek 2 [autor]



Obr. 15 – Termosnímek 3 [autor]

## **4.2 Rozbor olejové náplně [5], [7], [8]**

V této kapitole se zabývám analýzou olejů a posouzením jejich stavu. Provedu odběry teplotnosného oleje a dále také odběry hydraulického oleje, které porovnávat se vzorky z předešlých let z bakalářské práce.

Cílem je zjistit kvalitu samotného maziva a z výsledků testu posoudit technický stav sledovaných strojů. Stav média analyzuji a následně vyhodnotím kvantitativně i kvalitativně.

Pro fyzikálně chemické parametry použiji číslo celkové kyselosti, celkové znečištění a mechanické nečistoty i spektrální analýzu.

### **4.2.1 Odběr vzorku**

Mezi hlavní zásady pro odběr vzorků uvedu následující: vzorek použitelný pro zkoumání musí prezentovat průměrné složení maziva v zařízení. V ideálním případě vzorek odebírá vždy tatáž osoba, jinak je třeba se řídit např. ČSN 65 6207.

Zařízení musí pracovat při své provozní teplotě. Před samotným odběrem část odpustíme, cca 500 ml, kterou vrátíme do oběhu. Množství vzorku volíme dle potřeby, nejčastěji cca 250 ml.

Vzorek popisujeme nejlépe číslem a názvem stroje, druhem maziva, mazaným místem, datem a technikem, který odebral vzorek. Označíme požadované metody a předáme k rozboru.

Hydraulický olej jsem odebíral ze strojů Maplan 7 a Maplan 8. Vybral jsem si také několik strojů Desma a Maplan, kde se firma potýká s karbonizací teplotnosného oleje. Olej jsem odebral do 250 ml vzorkovnice za pomoci pumpičky v termínech 3. listopadu 2017 a 20. února 2018. Pro správné srovnání byl odebrán i referenční vzorek nového oleje. Řádně označené vzorky jsem poté podrobil potřebným tribodiagnostickým rozborům v laboratoři VŠB.

#### 4.2.2 Analýza olejů v laboratoři

##### Kinematická viskozita

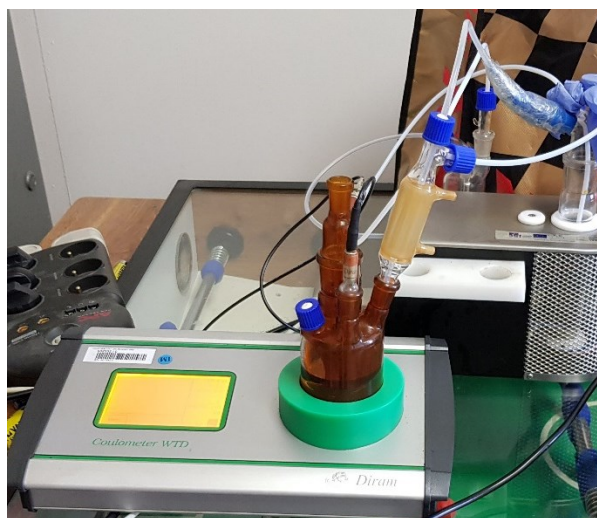
Viskozita je míra vnitřního tření kapaliny, třou se uhlovodíkové molekuly. Proto je velmi důležité, aby byla správná tekutost kapaliny. Kinematickou viskozitu jsem prováděl při teplotě 40 °C pomocí viskozimetru Ubbelohde.



Obr. 16 – Měření viskozity [autor]

##### Obsah vody

Při měření jsem zvolil kvantitativní zkoušku Coulometerem, protože dokáže určit i stopové množství vody. Do titrační nádoby se vložilo určité množství oleje, jód se uvolňuje díky průchodu proudu. 1 mol  $\text{J}_2$  reaguje s 1 molem  $\text{H}_2\text{O}$ . Po reakci přístroj detekuje nadbytečný jód.



Obr. 17 – Coulometer WTD [autor]

## Číslo celkové kyselosti a alkality

Kyselost má vliv na změnu viskozity a celkově stárnutí oleje. Hrozí jeho špatná funkce a koroze.

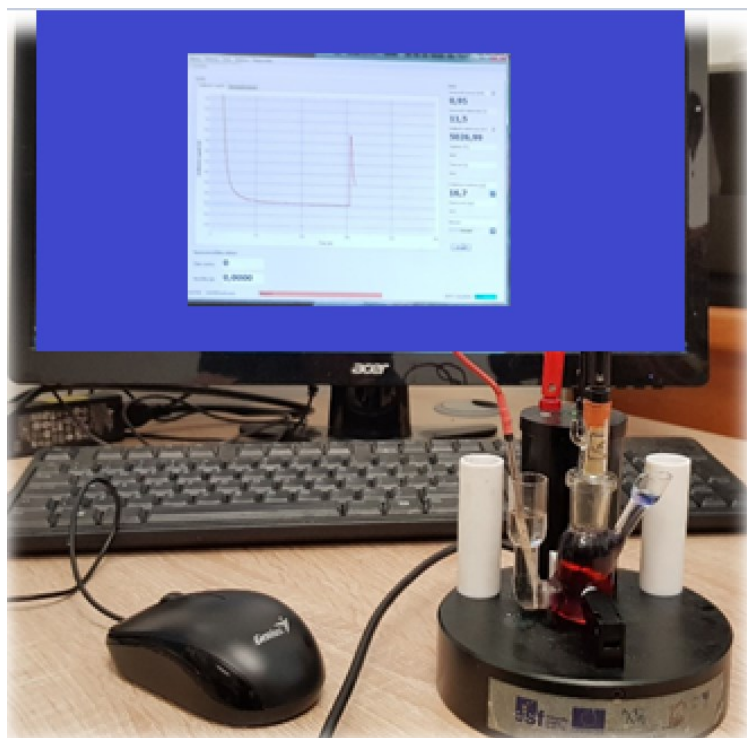
### Číslo celkové alkality - TBN (Total Base Number)

"Číslo celkové alkality se označuje zkratkou TBN (Total Base Number) a jeho stanovení titrační metodou je normováno ČSN 65 6069. Číslo celkové alkality (mg KOH.g-1) udává množství kyseliny chloristé, vyjádřené počtem miligramů hydroxidu draselného, které je třeba k neutralizaci všech zásaditých složek, přítomných v 1 g vzorku oleje." [7]

### Číslo celkové kyselosti - TAN (Total Acid Number)

„Číslo celkové kyselosti je definováno jako množství KOH v mg, spotřebované na neutralizaci všech kyselých složek obsažených v 1 gramu analyzovaného vzorku oleje.“ [8]

Číslo celkové kyselosti jsem stanovil pomocí metody titrace na barevný indikátor (obr. 18). S použitím injekční stříkačky jsem odebral potřebné množství vzorku, které jsem zvažil a malou část jsem vpravil do alkoholického roztoku KOH. Vzorek jsem znovu zvažil kvůli rozdílu váhy, pro program Dirm Measure.



Obr. 18 – Určení čísla kyselosti titrací na barevný indikátor [autor]



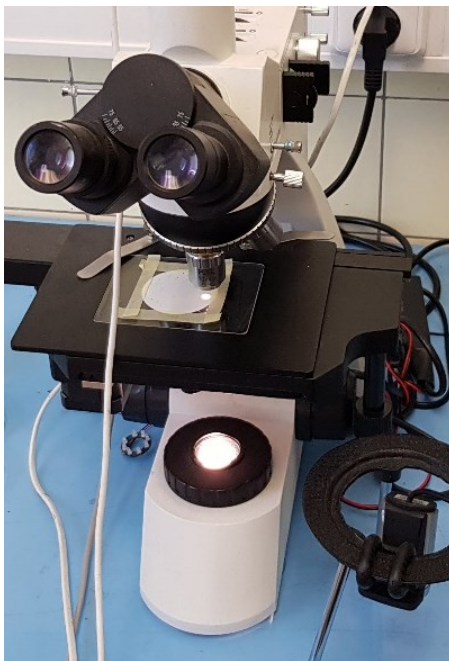
### **Celkové znečištění**

- nečistoty primární – potrubí, nečistoty nádrže, hydraulické kapaliny (prach, otřepy, atd.)
- nečistoty z okolí – způsobené netěsným otvorem
- nečistoty vzniklé z obvodu – opotřebení, koroze, eroze
- nečistoty vzniklé z hydraulické kapaliny – ztráta aditiv z oleje, např.: disperzanty, detergenty, antioxidanty, protioděrové přísady

### Stanovení mechanických nečistot:

#### **Mikroskopické (ČSN 65 6081)**

Částice se řadí do 6 skupin dle velikosti: od 05 – 100  $\mu\text{m}$ , nad 100  $\mu\text{m}$  jsou už vlákna. Zkoušku jsem prováděl přes 0,8  $\mu\text{m}$  filtr, přes který za pomoci podtlaku proteklo 25 ml vzorku oleje. Pomocí mikroskopu se pak určovala velikost a množství částic.



*Obr. 19 – Mikroskop [autor]*

#### **Kód čistoty**

- ČSN ISO 4406/87 – norma udává 2 hodnoty: nad 5  $\mu\text{m}$  a nad 15  $\mu\text{m}$ .
- ČSN ISO 4406/99 – jedná se o novější normu, která udává o jednu hodnotu navíc: nad 4  $\mu\text{m}$ , nad 6  $\mu\text{m}$ , nad 14  $\mu\text{m}$ .



## Spektrální analýza

Jedná se o analytickou metodu nedestruktivní optickou, která patří do infračervené spektrometrie. Pohlcuje se záření s určitou energií. Ve spektru vznikají absorpční pásy, z kterých lze určit sloučeniny.



Obr. 20 – FT-IR [autor]

## Rentgenová spektrometrie

Pomocí energo dispersní rentgenové fluorescenční technologie umožňuje více prvkovou analýzu s přesným chemickým složením vzorku. Rentgenové záření je vzorkem pohlceno a následně vyzářeno. Výčet prvků je v jednotkách ppm od sodíku po uran.



Obr. 21 – Rentgenová spektrometrie [autor]

### 4.3 Tribodiagnostické rozbory hydraulického oleje [1]

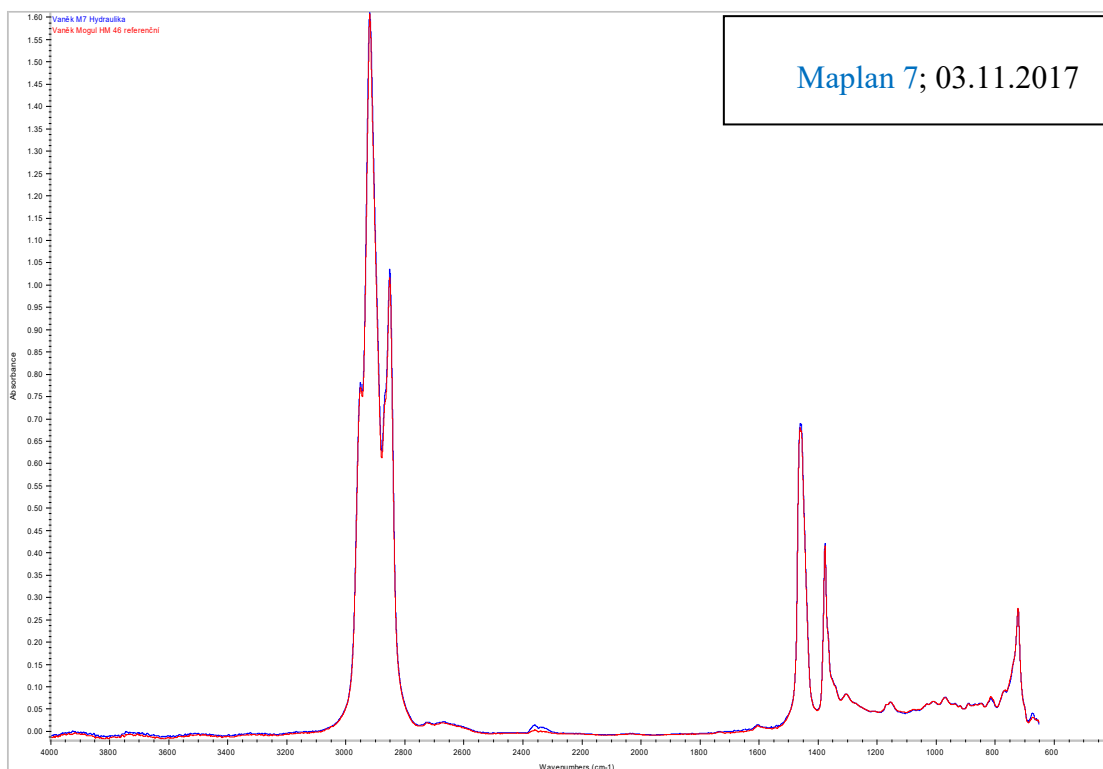
Provedl jsem srovnání v časové ose, 16. března 2015 bylo měřeno 5 vstřikovacích lisů. 3. listopadu jsem si vybral 2 vstřikovací lisy, které v roce 2015 reprezentovaly nejlepší stav strojů. Provedl jsem stejné měření jako před lety. Z hlediska tribodiagnostiky jsem nezaznamenal navýšení hodnot.

Tab. 2 – Srovnání hodnot hydraulického oleje u stroje Maplan v časovém horizontu

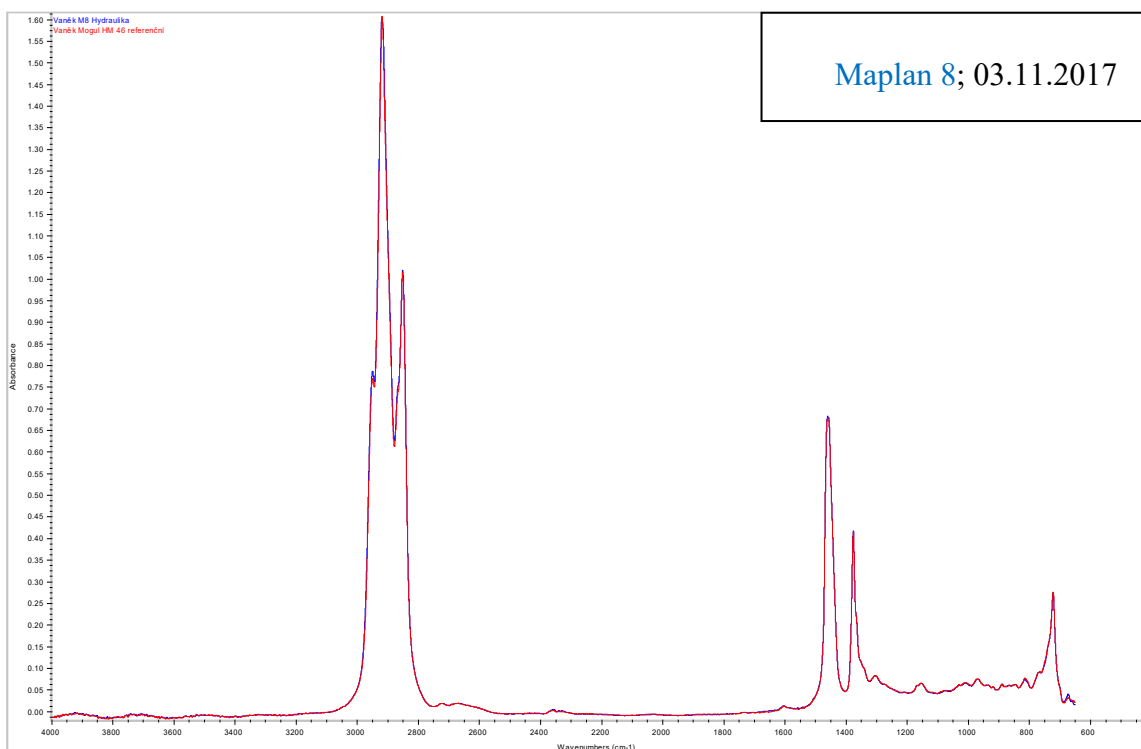
MOGUL HM 46 Hydraulic Oil ISO 6743/4 ISO VG 46, Paramo, a. s.							
Parametr kvality	Rozměr	Referenční 2015	Maplan 7 2015	Maplan 8 2015	Referenční 2017	Maplan 7 2017	Maplan 8 2017
Kinematická viskozita	mm²/s	46	43,8	43,9	-	46,7	47,3
TAN	mg KOH/g	0,611	0,732	0,523	0,736	0,722	0,689
Obsah vody	%	0,005	0,0047	0,0094	0,0063	0,0101	0,0108
Mech. nečistoty	mg/1000cm³	18/17/15	17/16/14	17/16/14	16/16/13	15/14/12	15/14/12
Kód čistoty	Třída	-	-	-	8	9	9
Prvková analýza ED-XRF							
obsah Fe	ppm	< 1	< 1	< 1	0,4	< 1	< 1
obsah Cu		2,2	2,5	3,1	4,4	14	6,6
obsah Cr		7,6	6,1	9,8	5,3	9,4	9,9
obsah Sn		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
obsah Si		< 5,1	< 5,1	< 5,1	< 1	< 1	< 1
Aditiva, degradace							
obsah S	ppm	1155	1084	1310	8528	6250	7094
obsah P		550,4	502,2	614,2	756,3	781,6	785,2
obsah Mg		< 101	< 101	< 101	< 101	< 101	< 101
obsah Mo		< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
obsah Zn		475,5	444,4	559,5	712,4	714,9	724
obsah Ca		< 10	< 10	< 10	31,3	< 10	10,6

### 4.3.1 Spektrální analýza hydraulického oleje – FT-IR spektrometrie

U FT-IR spektrometrii nebylo zaznamenáno žádné zvýšení.



Obr. 22 – FT-IR spektrometrie, Maplan 7 [autor]



Obr. 23 – FT-IR spektrometrie, Maplan 8 [autor]

### 4.3.2 Zkoumání celkového znečištění mikroskopicky

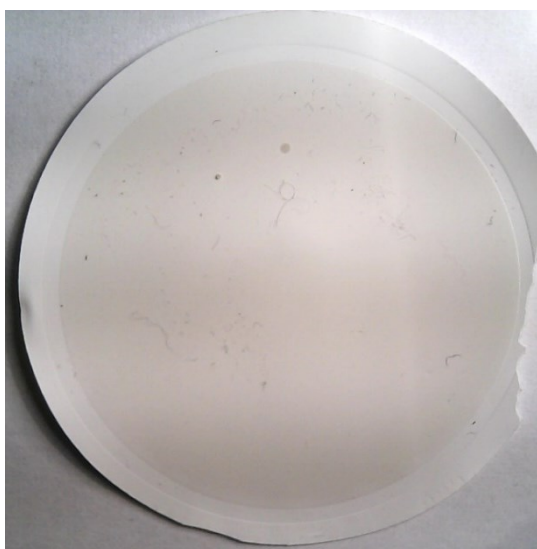
Níže vidíme snímky hydraulického oleje. U referenčního vzorku spatřujeme částice z důvodu špatného skladování oleje.

Referenční



*Obr. 24 – Filtr referenční [autor]*

Maplan 7



*Obr. 25 – Filtr Maplan 7 [autor]*

Maplan 8



*Obr. 26 – Filtr Maplan 8 [autor]*

## 4.4 Tribodiagnostické rozbory teplotnosného oleje

### 4.4.1 Vyhodnocení výsledku analýzy teplotnosných olejů

Po provedení rozboru teplotnosného oleje jsem výsledné hodnoty znázornil v Tab. 4, 5, 6. Při posudku naměřených dat jsem zvolil následující meze (Tab. 3) pro analyzované vzorky teplotnosného oleje.

Tab. 3 – Doporučené hodnoty pro jednotlivé parametry kvality olejů

Parametr kvality	Rozměr	Požadovaná hodnota		
		výstraha	maximální	Referenční
TAN (Č. kyselosti)	mg KOH/g	0,5	0,7	0,023
Mechanické nečistoty	mg/100cm <sup>3</sup>	20/18/15	21/19/16	14/13/11
Kód čistoty	Třída	11	>12	6
Prvková analýza ED-XRF		výstraha	maximální	Referenční
obsah Fe	ppm (mg/kg)	30	60	< 1,0
obsah Cu		60	80	3,1
obsah Cr		10	15	0
obsah Sn		15	25	< 3,0
obsah Si		15	25	< 1,0
Aditiva, degradace		Referenční hodnoty oleje THERM 320		
obsah S	ppm (mg/kg)	2664		
obsah P		< 3,0		
obsah Na		1862		
obsah Zn		1,2		
obsah Ca		< 10		

Na požádání firmy jsem prvně odebral vzorky ze stroje Maplan 9/1, respektive z jeho topného ústrojí.

U dalšího měření jsem do testu přidal ještě stejný typ Maplan 37 a tři podobné od výrobce Desma 24, 31 a 32. Např. u Desma 31 je zvýšený křemík, což je následek otevřené nádrže. U Maplan 37 je vysoké znečištění, které zvyšuje opotřebení i oběžného kola čerpadla.

Tab. 4 – Naměřené hodnoty oleje THERM 320 u stroje M 9/1

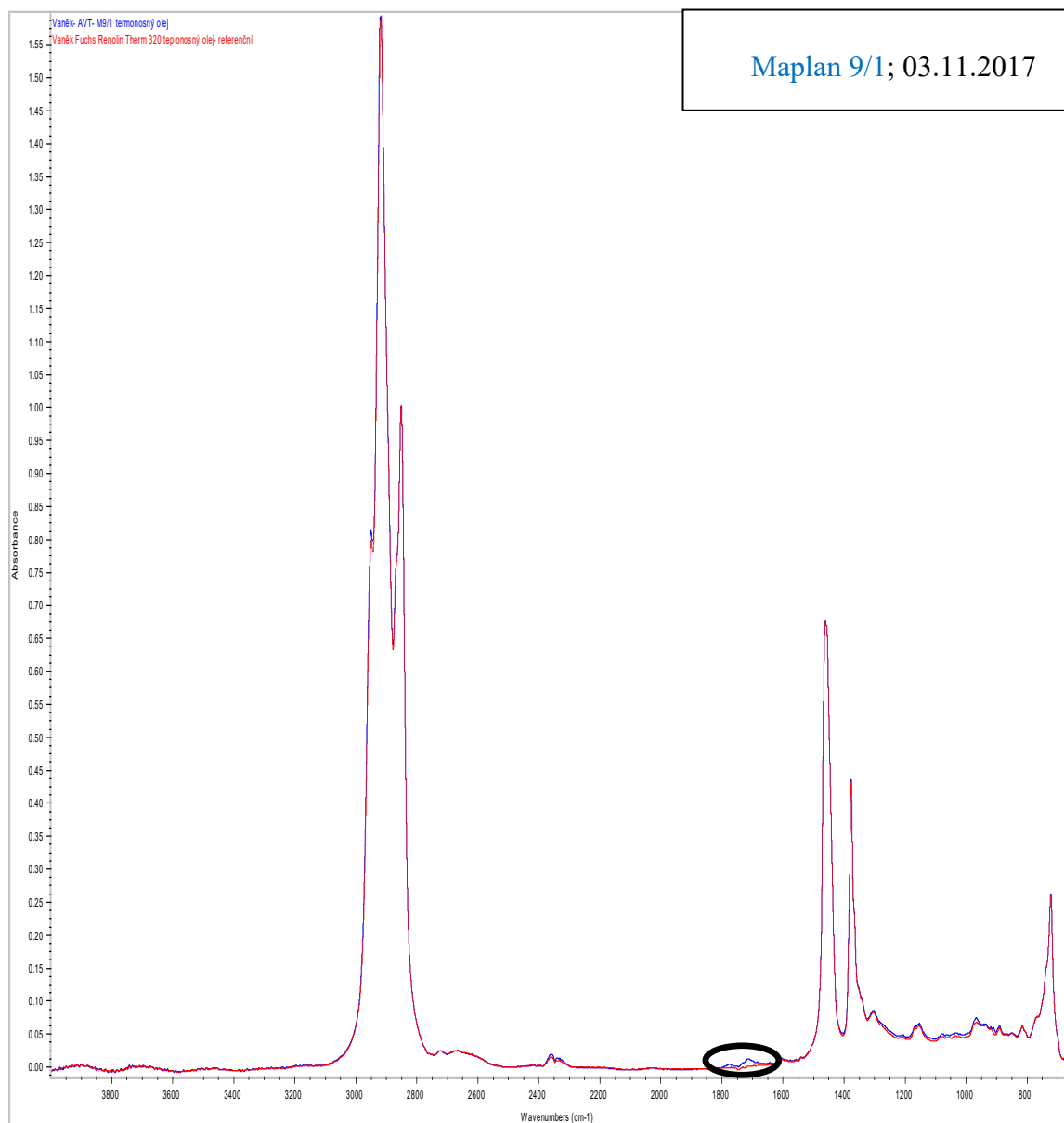
Číslo vzorku		1	2
Strojní zařízení		Maplan 9/1	Maplan 9/1
Název oleje		THERM 320	THERM 320
Datum odběru		03.11.2017	20.02.2018
Doba provozu od výměny oleje		2 týdny	3 týdny
Parametr kvality	Rozměr	hodnota	hodnota
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	0,37	0,32
Prvková analýza ED-XRF		hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm	< 1,0	17
obsah Cu	(mg/kg)	3,4	6,5
obsah Cr		0	0
obsah Sn		< 3,0	< 3,0
obsah Si		< 1,0	< 1,0
Aditiva, degradace		hodnota	hodnota
obsah S	ppm	2581	2327
obsah P	(mg/kg)	< 3,0	< 3,0
obsah Na		1862	4302
obsah Zn		1,4	1,7
obsah Ca		< 10	< 10

Tab. 5 – Naměřené hodnoty oleje THERM 320 u strojů Maplan a Desma

Číslo vzorku		3	4	5	6
Strojní zařízení		Maplan 37	Desma 24	Desma 31	Desma 32
Název oleje		THERM 320	THERM 320	THERM 320	THERM 320
Datum odběru		20.02.2018	20.02.2018	20.02.2018	20.02.2018
Doba provozu od výměny oleje		3 týdny	3 týdny	3 týdny	3 týdny
Parametr kvality	Rozměr	hodnota	hodnota	hodnota	hodnota
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	1,173	0,122	0,084	0,074
Prvková analýza ED-XRF		hodnota	hodnota	hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm	16,5	18,9	19,1	32,7
obsah Cu	(mg/kg)	43,7	4	6,6	8,9
obsah Cr		0	0	0	0
obsah Sn		< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0
obsah Si		< 1,0	< 1,0	52,8	< 1,0
Aditiva, degradace		hodnota	hodnota	hodnota	hodnota
obsah S	ppm	2461	2464	1165	1752
obsah P	(mg/kg)	6	< 3,0	250,3	145,2
obsah Na		4308	4393	4693	4354
obsah Zn		4,1	1,6	6,8	6,2
obsah Ca		< 10	< 10	< 10	< 10

#### 4.4.2 Spektrální analýza teplotnosného oleje – FT-IR spektrometrie

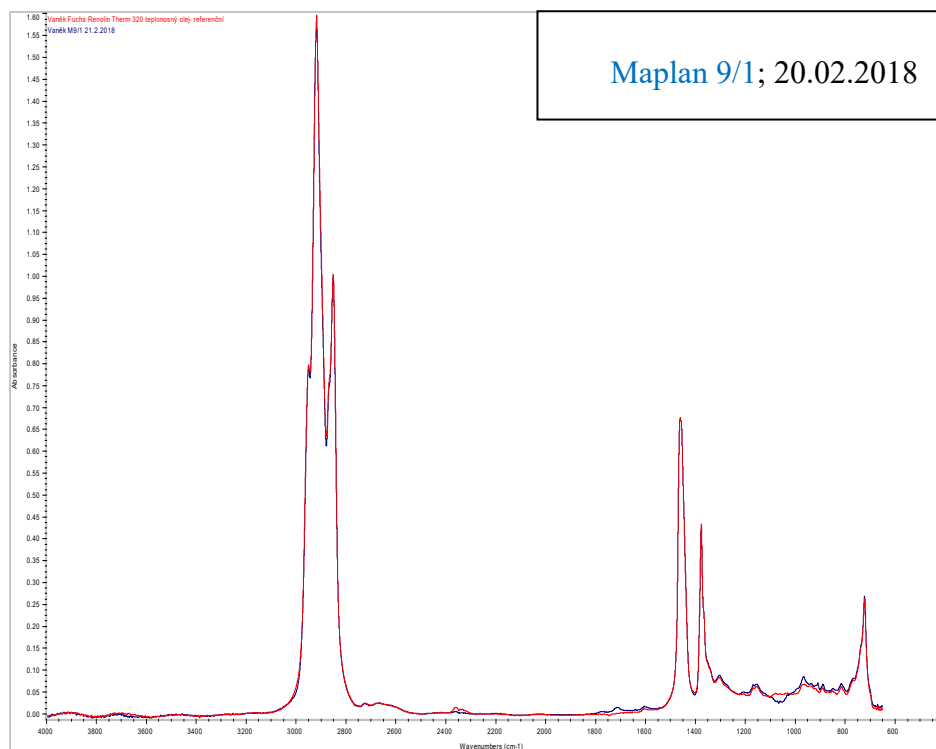
Červená amplituda značí referenční vzorek oleje (vyjma M 37, kde je to naopak), který jsem srovnal se všemi zkoumanými teplotnosnými oleji temperačních agregátů Maplan a Desma. Na následujících obrázcích jsou vidět rozdílná spektra v oblasti aditiv, liší se od referenčního oleje. To může znamenat, že výrobce upravil chemické složení, nebo se na firmě olej smíchal s jiným. U všech odebraných vzorků můžeme sledovat ve vyznačené pásmu degradaci vlivem oxidace a nitrace.



Obr. 27 – FT-IR spektrometrie, Maplan 9/1 [autor]

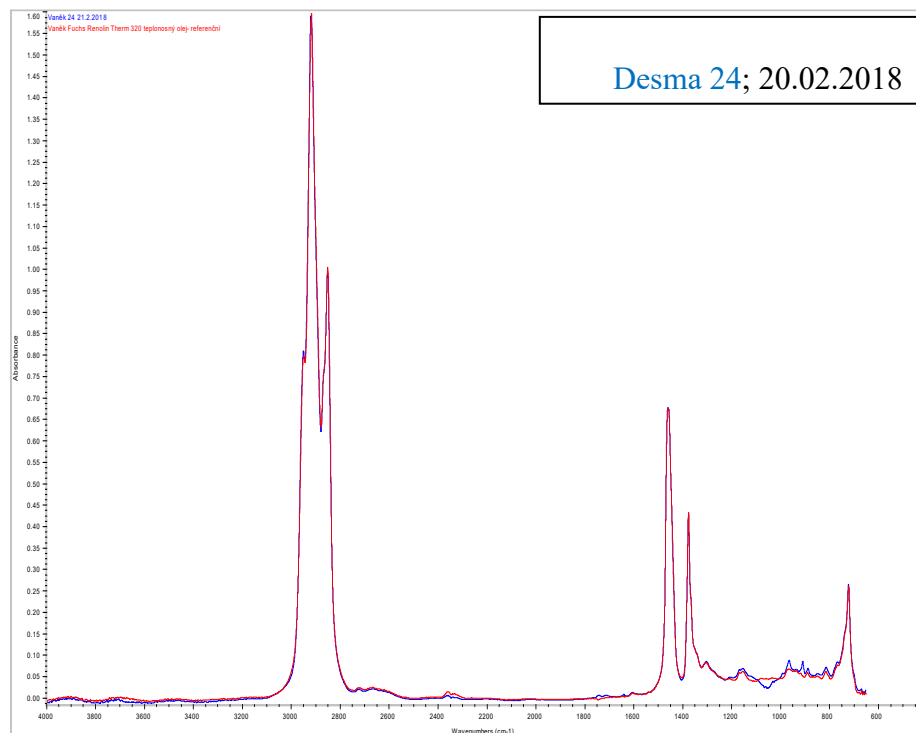
Ve vzorku jsou vidět částice, proto se v dalším tématu budu zabývat zkoumáním pomocí mikroskopu. Došlo ke změně aditiv.

U Maplan 9/1 vidíme oxidaci, nejsou spotřebována aditiva, protože byl olej před 14 dní vyměněn, bohužel okruh nebyl dostatečně vyčištěn, nebo k degradaci dochází velmi rychle. Oproti předchozímu vidíme změnu v aditivech.



Obr. 28 – FT-IR spektrometrie, Maplan 9/1 [autor]

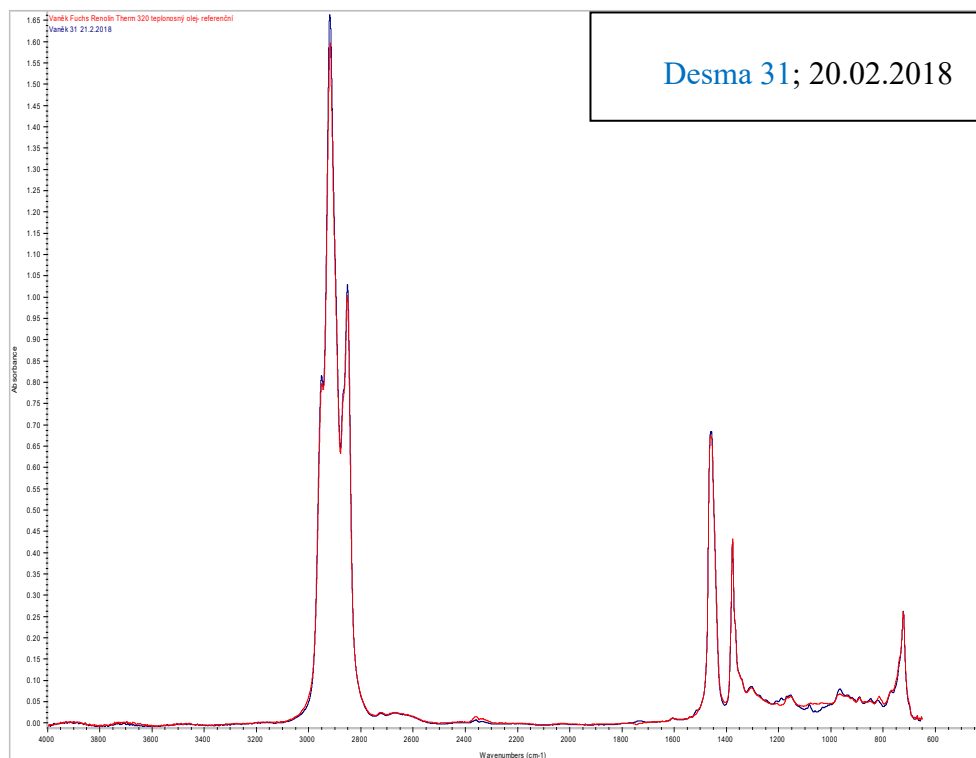
Podobně jako u předchozího vidíme změnu v aditivech.



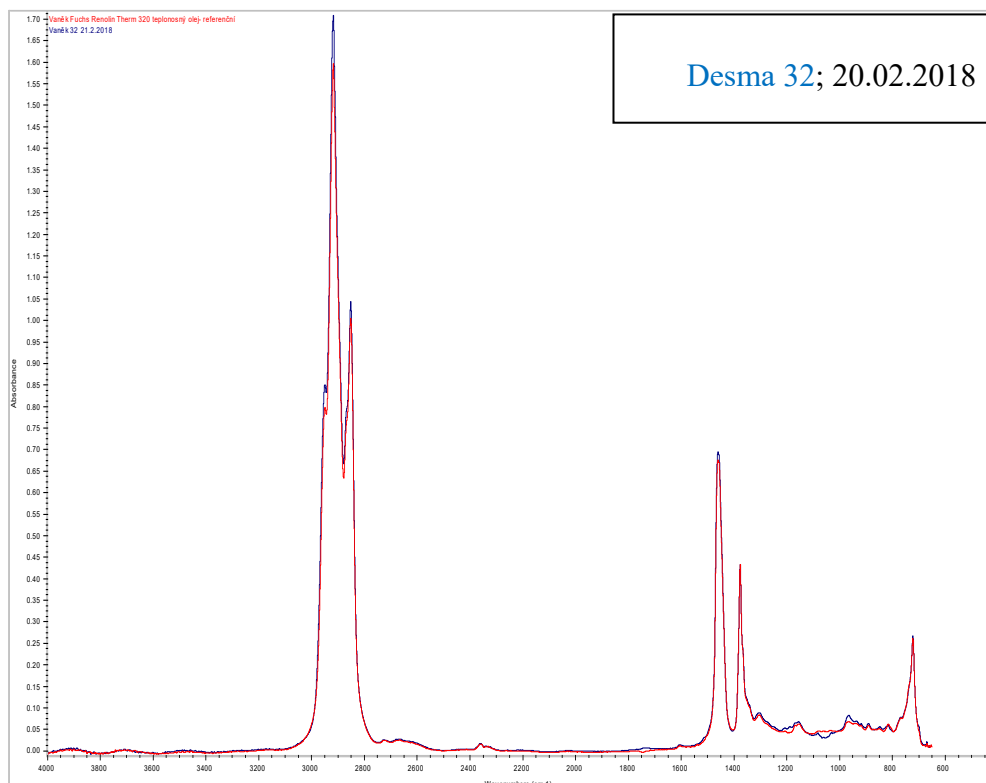
Obr. 29 – FT-IR spektrometrie, Desma 24 [autor]



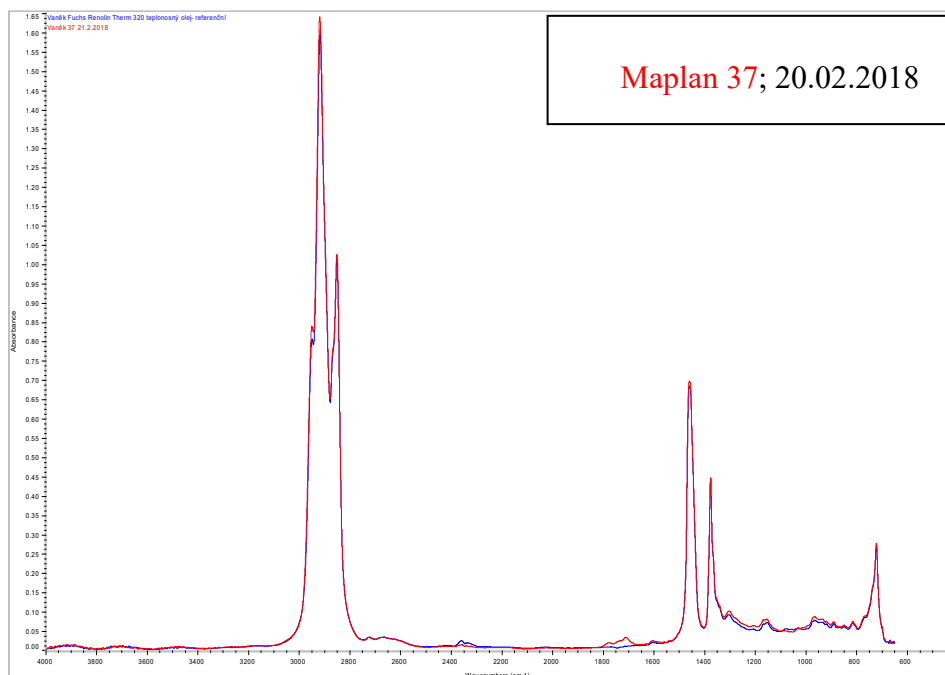
U Desma 31 vidíme opět propad protioděrových aditiv, nižší oxidace ve srovnání s Maplanem. Spektra připomínají předchozí průběh.



Obr. 30 – FT-IR spektrometrie, Desma 31 [autor]



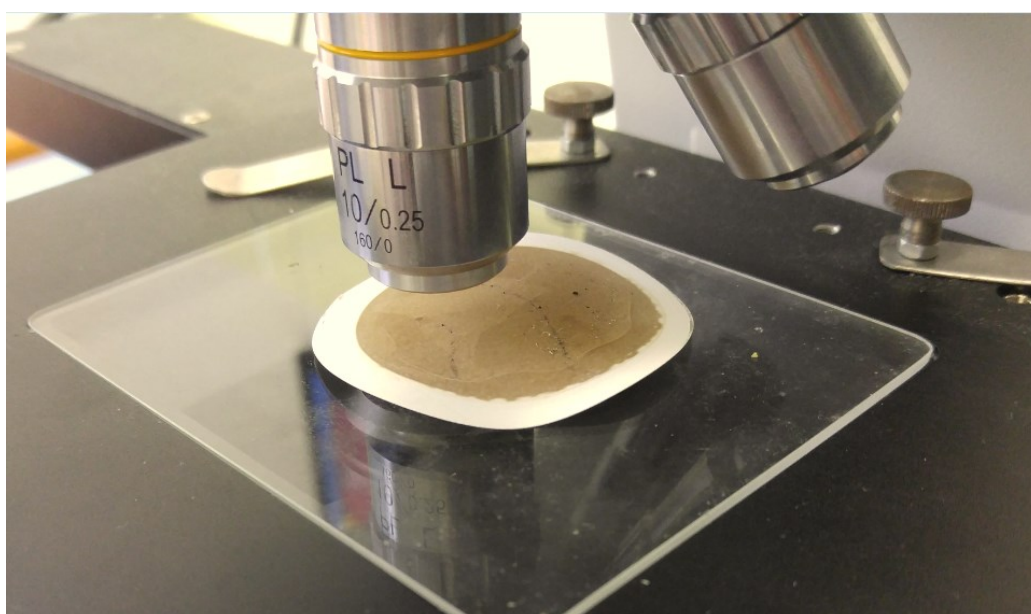
Obr. 31 – FT-IR spektrometrie, Desma 32 [autor]



*Obr. 32 – FT-IR spektrometrie, Maplan 37 [autor]*

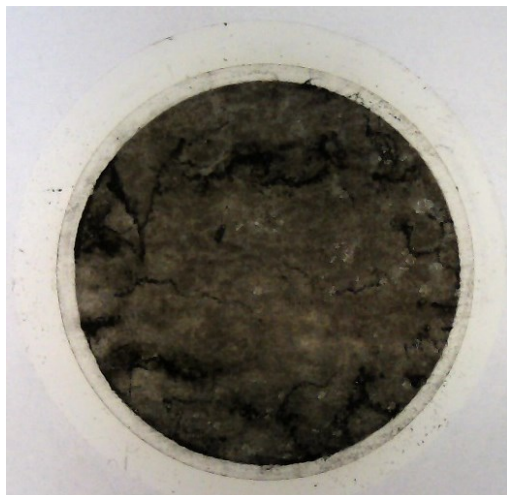
#### 4.4.3 Zkoumání celkového znečištění mikroskopicky

Největší částice byly u M 9/1, které dosahovaly až 800  $\mu\text{m}$ . U M 37, M 9/1 a D 24 doporučuji výměnu. D 31 se blíží k výměně. D 32 je čistý, ale obsahuje řadu částic, nejspíš z předchozích okruhů, degradací. M9/1 je tak znečištěný, že nelze stanovit kód čistoty. Rozhodl jsem se, že ho nebudu stanovovat ani u ostatních filtrů a spíše budu posuzovat zbarvení.



*Obr. 33 – Filtr pod mikroskopem [autor]*

Maplan 9/1



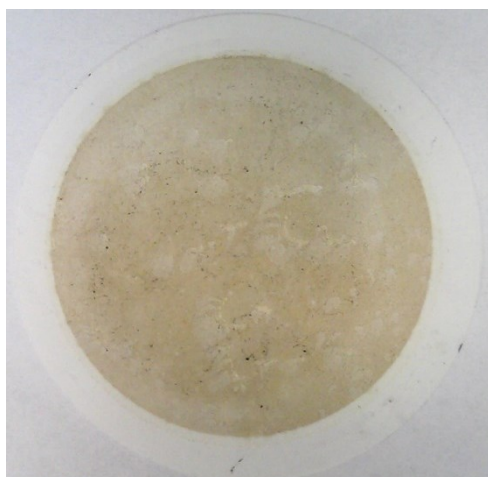
*Obr. 34 – Filtr Maplan 9/1 [autor]*

Desma 24



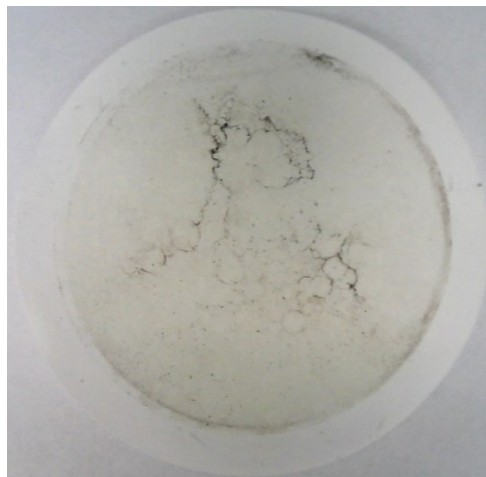
*Obr. 35 – Filtr Desma 24 [autor]*

Desma 31



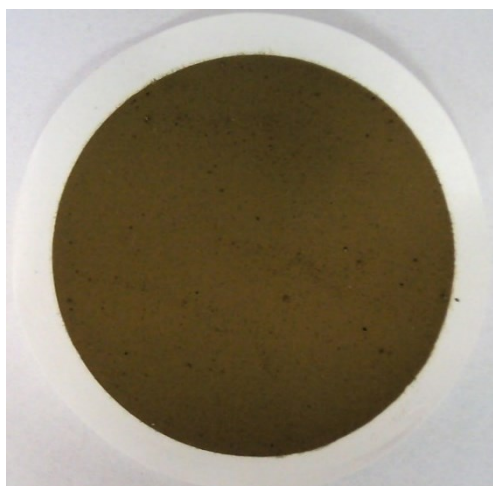
*Obr. 37 – Filtr Desma 31 [autor]*

Desma 32



*Obr. 36 – Filtr Desma 32 [autor]*

Maplan 37



*Obr. 38 – Filtr Maplan 37 [autor]*

#### 4.4.4 Funkční model u vstřikovacího lisu Rep

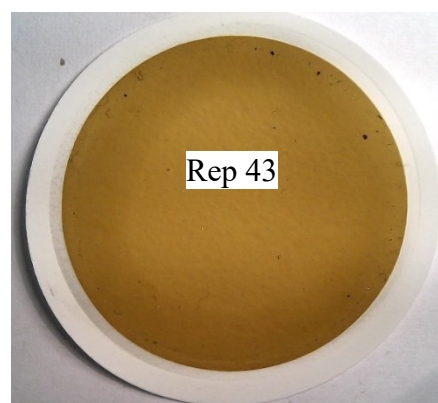
Na závěr jsem otestoval i vstřikovací lis REP, s kterým firma nemá potíže. Vstřikovací lis Rep 41 měl vyměněný olej 3 dny před měřením, okruh nebyl správně vyčištěn, proto vidíme velké množství malých částic. U Rep 43 nebyl měněn rok. U Rep 43 jsou měkké kaly a vidíme zvýšený obsah železa a mědi, dochází k opotřebení oběhového čerpadla. Splňuje ale požadavek výrobce, aby se olej měnil jednou ročně. Oproti tomu na ostatních vstřikovacích lisech Maplan a Desma se objevují problémy, u některých se ucpává obvod i po 3 měsících.

Tab. 6 – Naměřené hodnoty oleje THERM 320 u strojů Rep

Číslo vzorku		1	2
Strojní zařízení		Rep 41	Rep 43
Název oleje		THERM 320	THERM 320
Datum odběru		11.05.2017	11.05.2018
Doba provozu		3 dny	1 rok
Parametr kvality	Rozměr	hodnota	hodnota
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	0,032	0,608
Mechanické nečistoty	mg/100cm <sup>3</sup>	18/17/12	15/14/12
Kód čistoty	Třída	9	7
Prvková analýza ED-XRF		hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm	2,5	94,2
obsah Cu	(mg/kg)	13,1	296,6
obsah Cr		9,4	9,7
obsah Sn		< 3,0	< 3,0
obsah Si		< 1,0	< 1,0
Aditiva, degradace		hodnota	hodnota
obsah S	ppm	3163	2017
obsah P	(mg/kg)	< 3,0	< 3,0
obsah Na		< 1005	< 1005
obsah Zn		1,9	16
obsah Ca		< 10	< 10



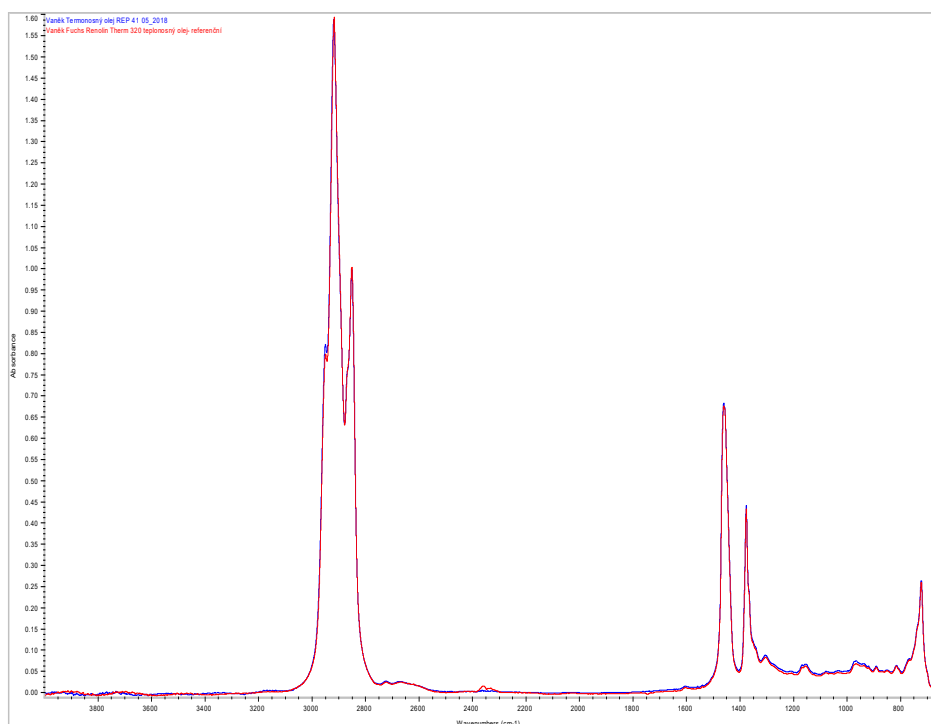
Obr. 39– Filtr Rep 41 [autor]



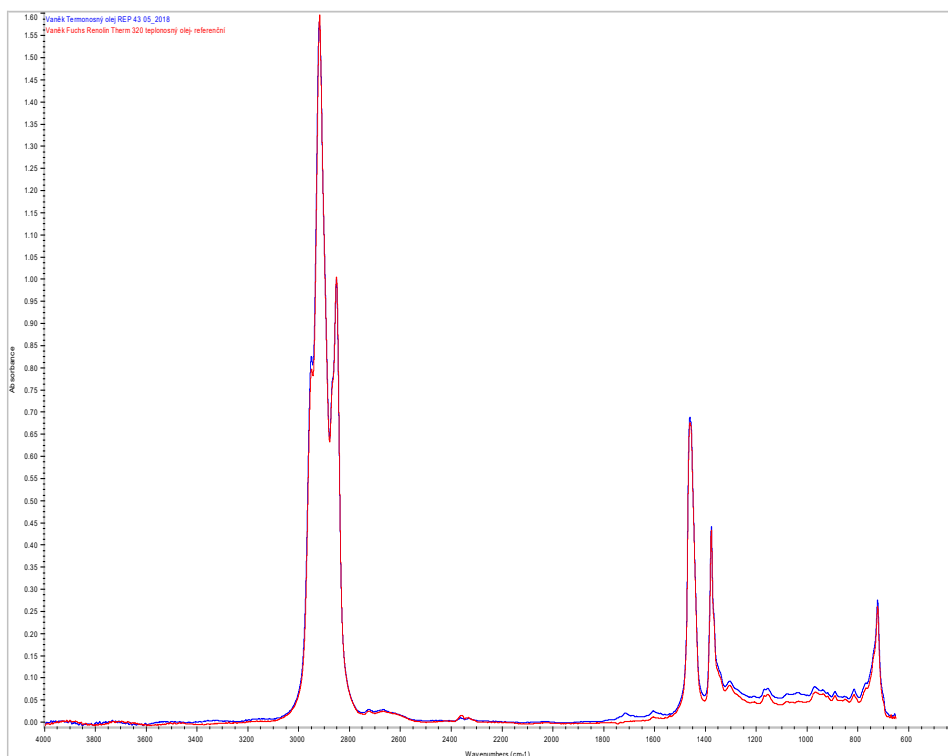
Obr. 40 – Filtr Rep 43 [autor]

**FT-IR – spektrometrie**

U Rep 41 je vše v pořádku. U Rep 43 si můžeme všimnout, že díky zvýšené kyselosti se posunuly pásy, dále vidíme oxidaci a nitraci.



*Obr. 41 – FT-IR spektrometrie, Rep 41 [autor]*



*Obr. 42 – FT-IR spektrometrie, Rep 43 [autor]*



## 4.5 Experiment s teplotnosným olejem

### 4.5.1 Referenčního oleje v otevřeném kelímku

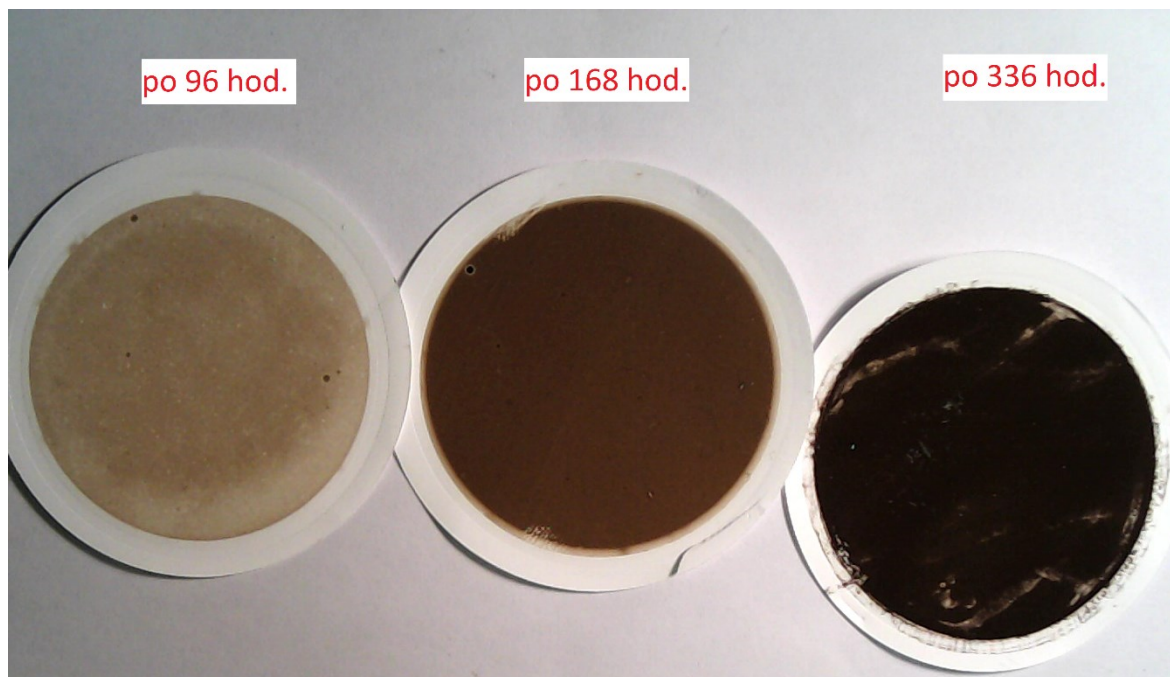
Vzhledem k nejasnosti problému jsem podrobil test referenčního oleje v otevřené nádobě v laboratorních podmínkách při teplotě 150 °C.

Je patrné, že olej není schopen odolávat této teplotě, protože po čtrnácti dnech značně zdegradoval.

Tab. 7 – Naměřené hodnoty referenčního vzorku oleje

Parametr kvality	Rozměr	Požadovaná hodnota			
		0 hod.	po 96 hod.	po 168 hod.	po 336 hod.
TAN (Č. kyselosti)	mg KOH/g	0,023	0,082	0,141	0,394
Mechanické nečistoty	mg/100cm <sup>3</sup>	14/13/11	16/15/13	17/16/14	27/27/25
Kód čistoty	Třída	6	9	10	>12

U kódu čistoty i barvy filtrů jde vidět rychlá, postupná degradace oleje.



Obr. 43 – Filtry v časovém rozmezí [autor]

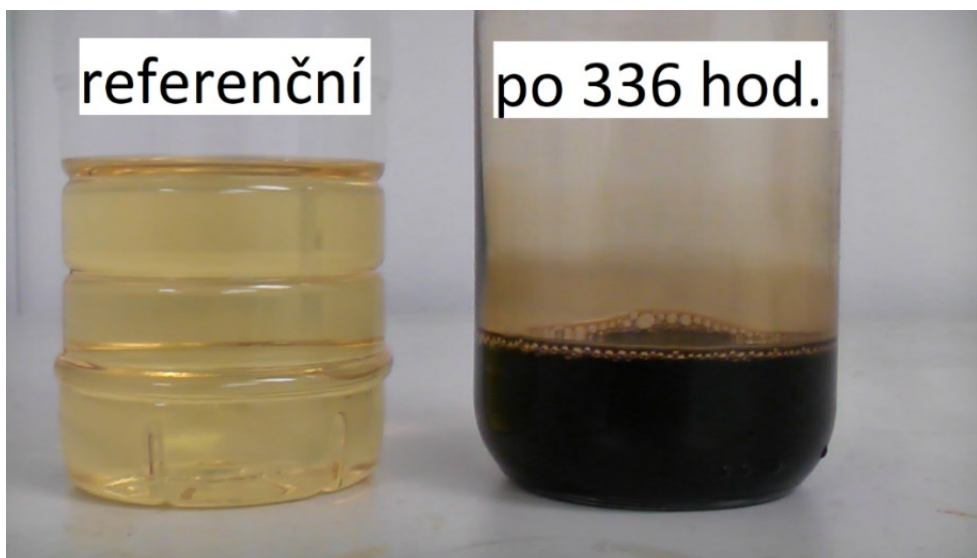
**Vývoj změny referenčního oleje v otevřeném kelímku:**

*Obr. 44 – Vývoj změny referenčního vzorku v čase [autor]*

Na předchozím obrázku 44 je možno vidět změnu barvy oleje po dobu 14 dnů. Olej byl testován v laboratorních podmínkách. První měření bylo provedeno po 12 hod., kde má ještě olej světle žlutou a průhlednou barvu. Další testování probíhalo v intervalech po 24 hod. Na vzorkovnicích je jasně vidět prudká degradace každým dnem. Po 48 hod. olej mění barvu a začíná nám připomínat karbonizaci. Po 72 hod. je již zřejmé, že olej karbonizuje. V dalších dnech počínaje 96 hod. má olej velmi tmavou barvu. Po 168 hod. olej přestal být průhledným.

#### **Rozdíl po 14 dnech:**

Zde můžeme spatřit opravdu markantní rozdíl po krátkém časovém intervalu.

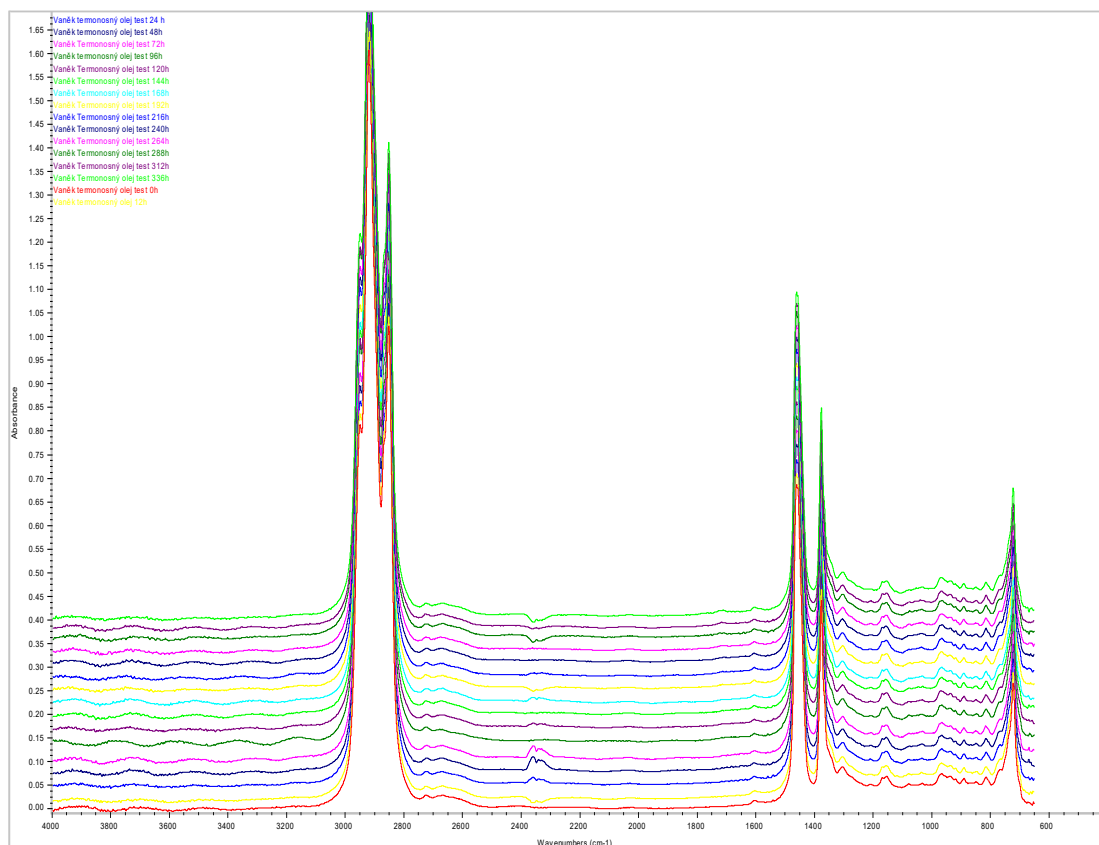


*Obr. 45 – Rozdíl referenčního a po 14 dnech [autor]*

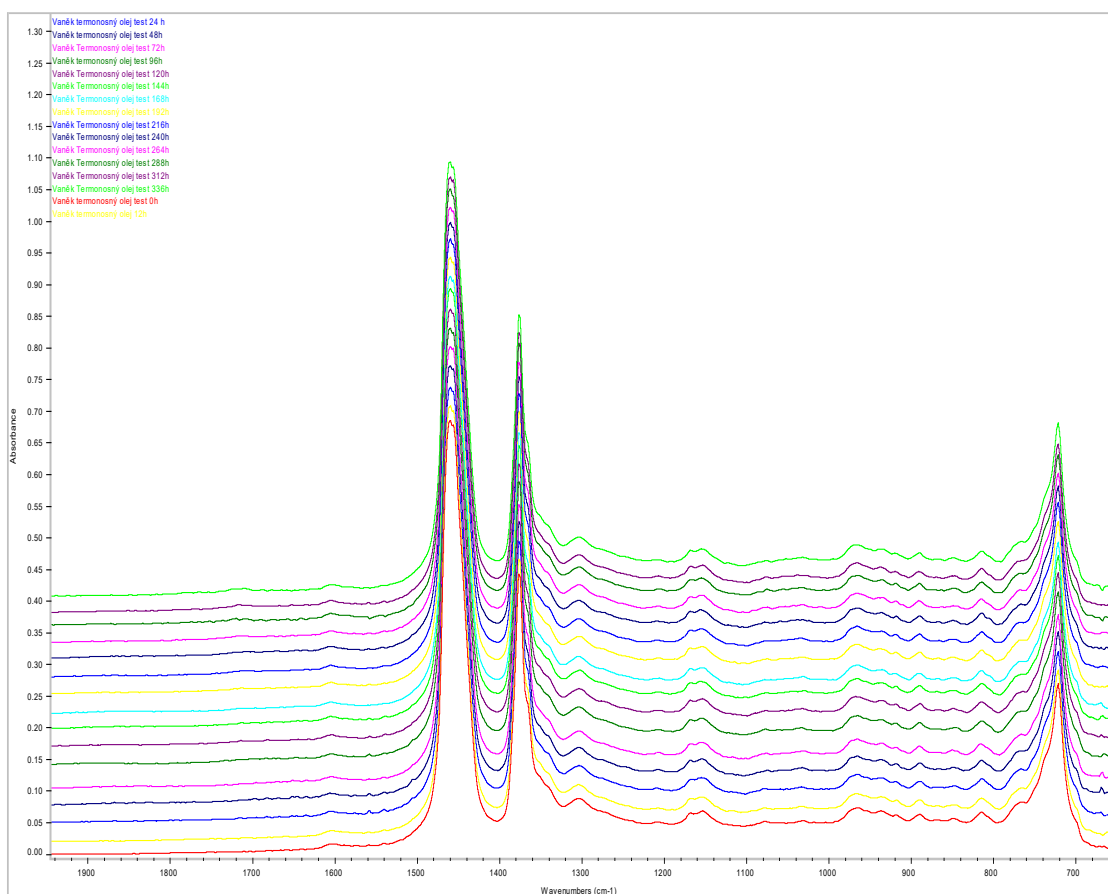
#### **FT-IR – spektrometrie**

Na obrázcích níže je srovnání referenčního oleje v čase 0 až 336 h. Kromě nitrace vidíme, že se cca po 288 h začíná objevovat i oxidace. Překvapivé je, že tu byly minimální změny. Od počátku probíhala degradace dusíkatými sloučeninami v pásmu 1600 až 1650  $\text{cm}^{-1}$ . Před blížícím se koncem testování se v pásmu 1670 až 1800  $\text{cm}^{-1}$  objevuje i oxidace. Hodnoty jsou natolik nízké, že na základě tohoto testu nemůžeme mluvit o degradaci.

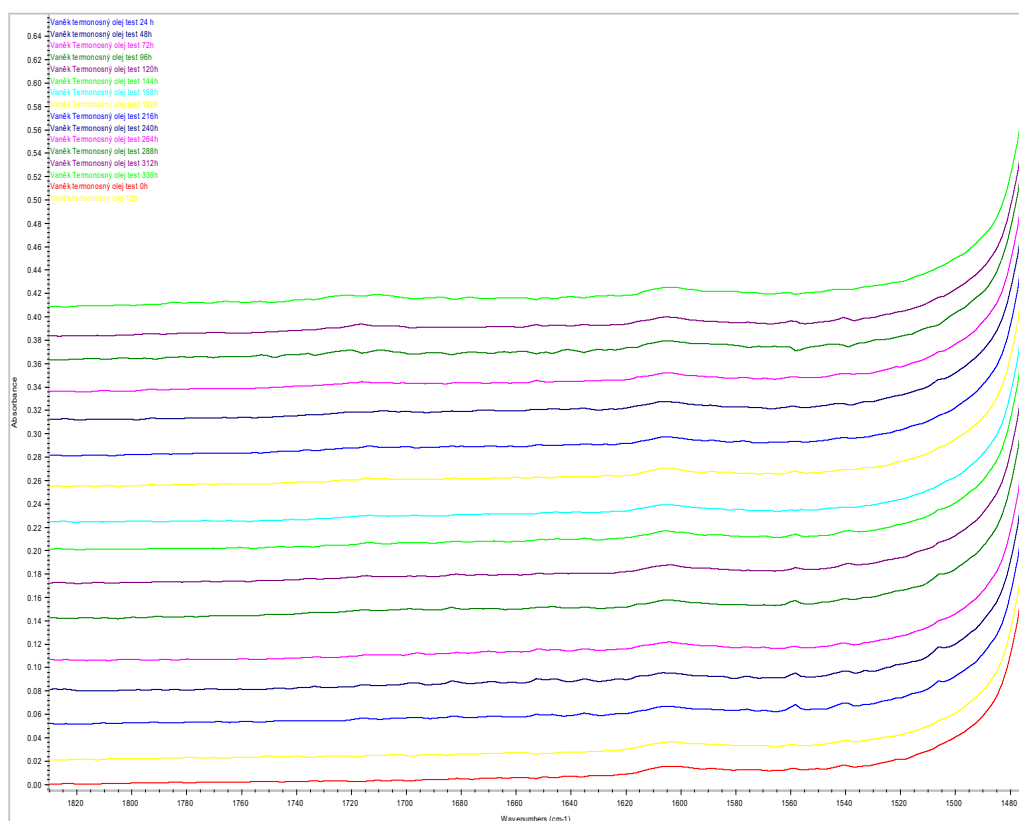




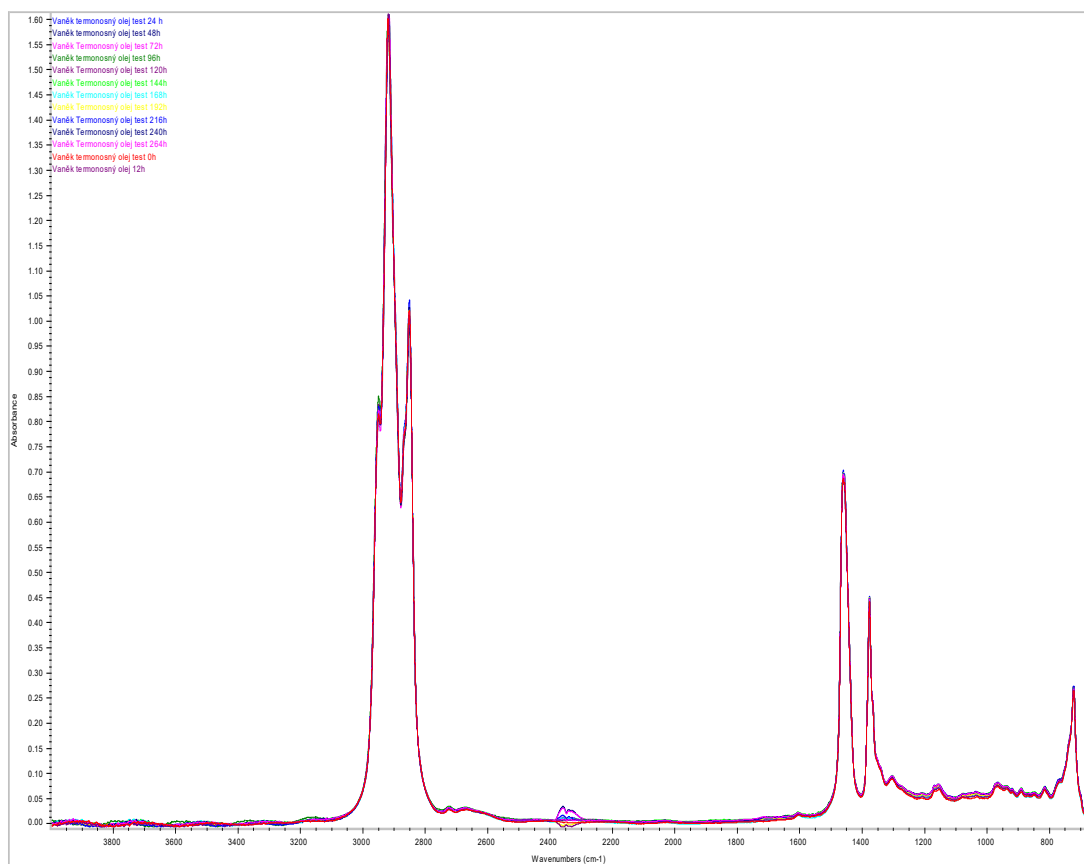
Obr. 46 – FT-IR spektrometrie, referenční otevřený kelímek 1 [autor]



Obr. 47 – FT-IR spektrometrie, referenční otevřený kelímek 2 [autor]



Obr. 48 – FT-IR spektrometrie, referenční otevřený kelímek 3 [autor]



Obr. 49 – FT-IR spektrometrie, referenční otevřený kelímek 4 [autor]

#### 4.5.2 Referenčního oleje v uzavřeném kelímku

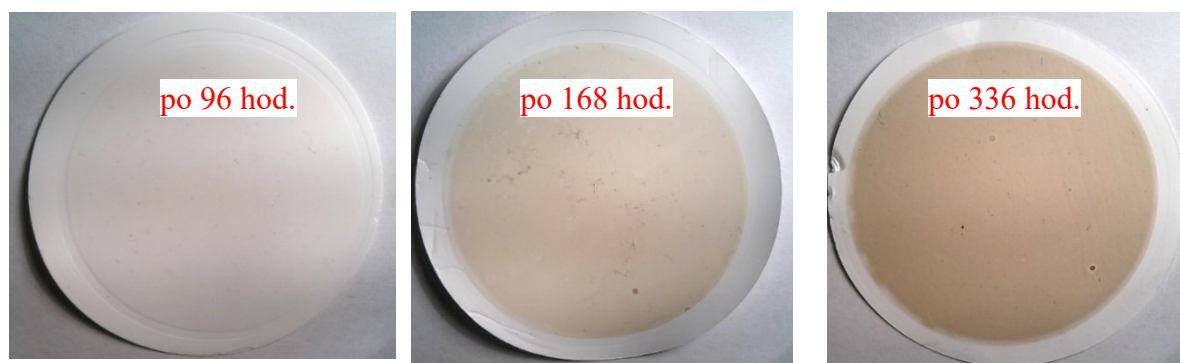
Test jsem provedl i v částečně hermatizované nádobě. Test v plně hermetizovaném kelímku v době výzkumu nebyl možný, protože by víko vzorkovnice nevydrželo teplotu nad 100 °C. I tak jsou v tabulce níže velmi nízké hodnoty degradace oleje velmi blízké s referenčním vzorkem.

Tab. 8 – Naměřené hodnoty referenčního vzorku oleje v částečně hermetizovaném kelímku

Parametr kvality	Rozměr	Požadovaná hodnota			
		0 hod.	po 96 hod.	po 168 hod.	po 336 hod.
TAN (Č. kyselosti)	mg KOH/g	0,023	0,033	0,032	0,031
Mechanické nečistoty	mg/100cm <sup>3</sup>	14/13/11	13/13/12	15/15/12	15/14/13
Kód čistoty	Třída	6	7	7	9

#### Filtry

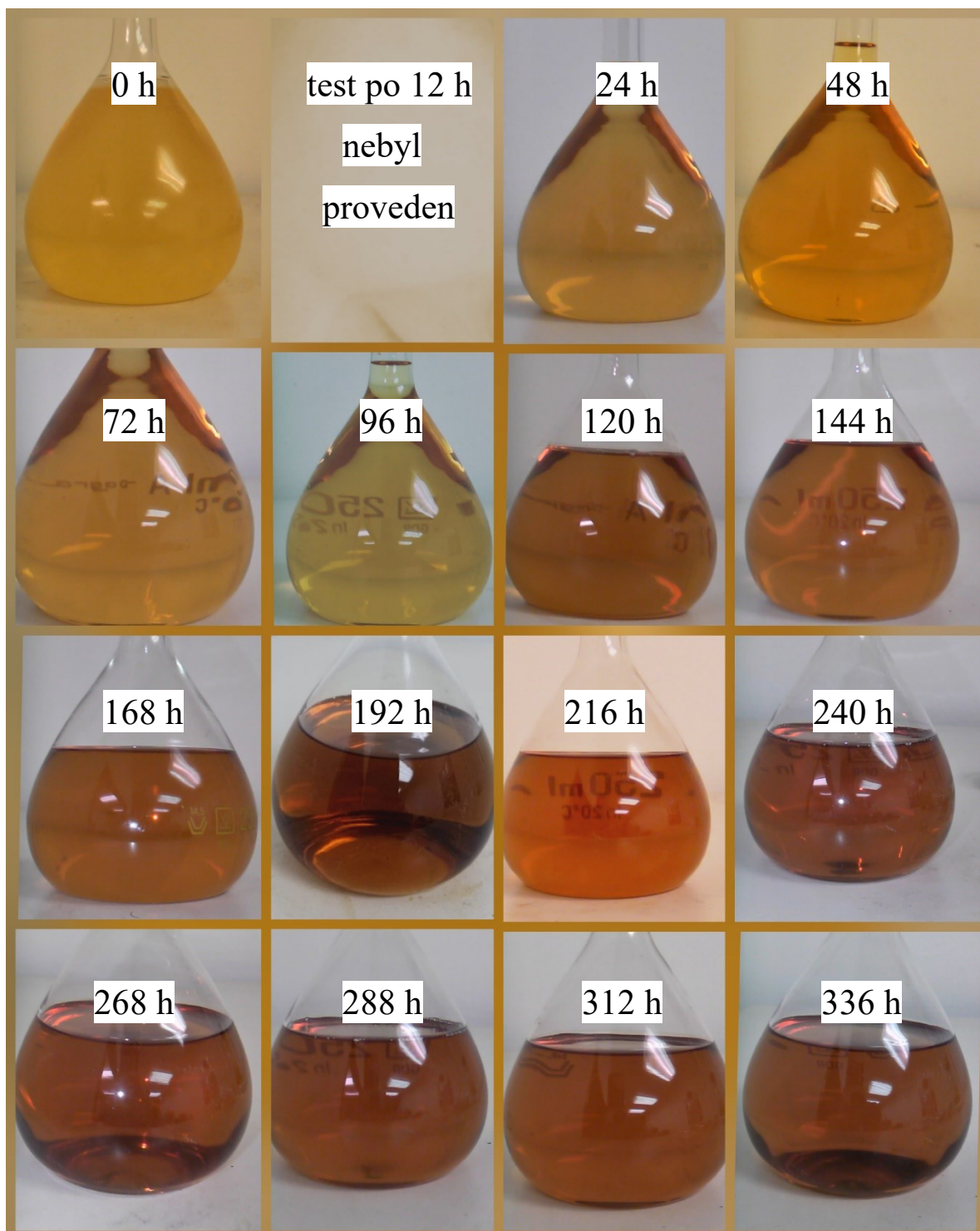
Filtry nejsou nijak výrazně zbarvené, částice jsou též minimální.



Obr. 50 – Srovnání filtrů v uzavřeném kelímku [autor]

**Vývoj změny referenčního oleje v uzavřeném kelímku**

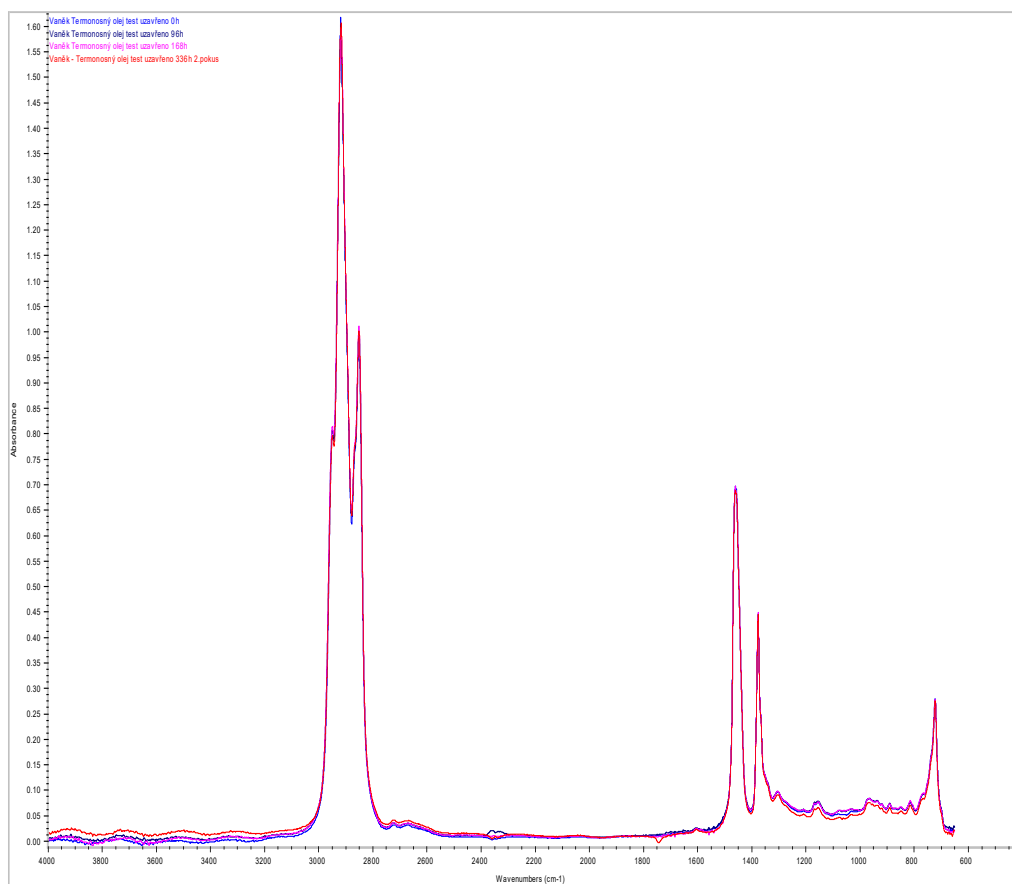
Zde lze vidět změnu oleje po 24 h, který byl testován v laboratorních podmínkách po dobu 14 dnů. Již na první pohled můžeme vidět, že se barva v čase moc nemění. Barvu uzavřeného kelímku po 336 hod. bych přirovnal ke kelímku otevřenému po 24 až 48 hod.



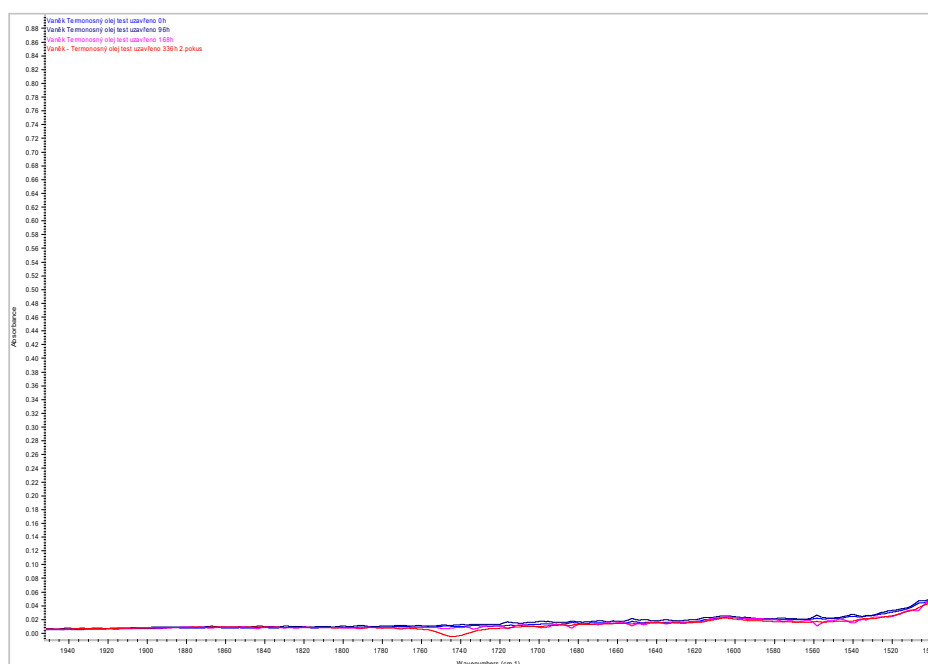
*Obr. 51 – Vývoj změny referenčního vzorku v čase [autor]*

**FT-IR – spektrometrie**

U částečně hermetizovaného kelímku jsou výsledky ještě lepší, spektra si jsou velmi podobná.



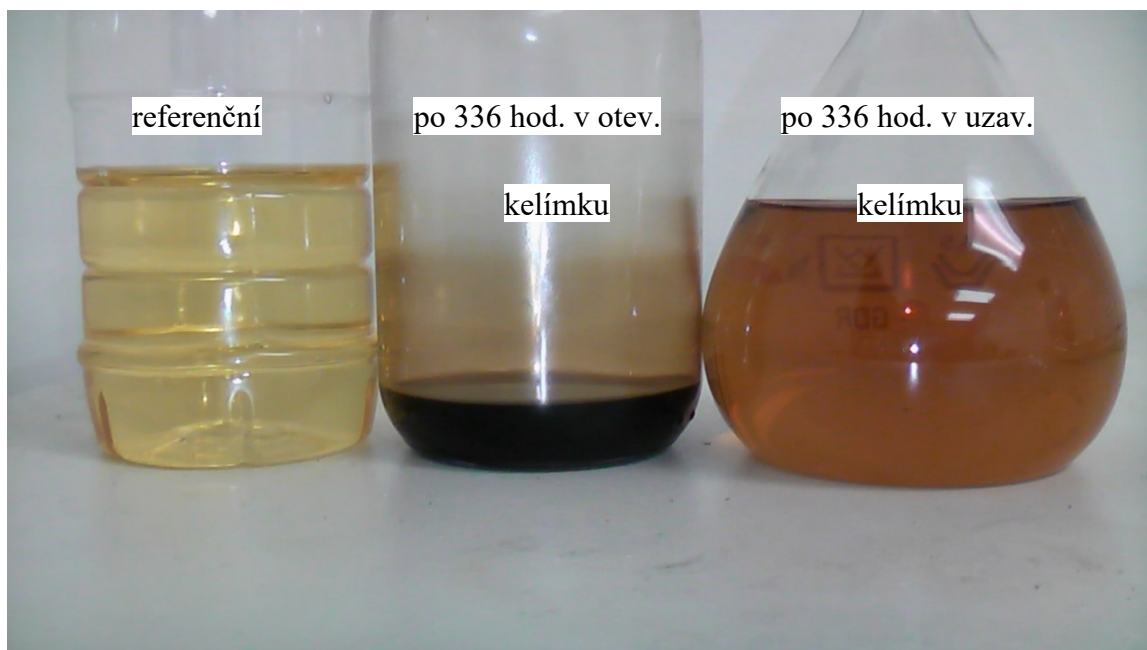
*Obr. 52 – FT-IR spektrometrie, referenční uzavřený kelímek 1 [autor]*



*Obr. 53 – FT-IR spektrometrie, referenční uzavřený kelímek 2 [autor]*

### Celkové srovnání kelímků

Jak již testy prokázaly, hermetizace má obrovský vliv na životnost. Olej je očividně všestranně lepší, má lepší kód čistoty a také lepší kyselost.



*Obr. 54 – Celkové srovnání kelímků [autor]*

### Kinematická viskozita

Ještě jsem provedl test kinematické viskozity, vycházím z faktu, že má firma problém s usazeninami. Uvažuji, že rostoucí degradací a viskozita se pochopitelně zvyšuje. Viskozita může ovlivňovat, jak moc se bude olej usazovat na již vzniklé usazeniny. Poté může degradovat ještě o něco rychleji, než by reagoval v čistém okruhu při stejné viskozitě.

Kinematickou viskozitu jsem chtěl provést při provozní teplotě, tedy 90 °C. Nakonec jsem se rozhodl pro kinematickou viskozitu při teplotě 40 °C. Hlavním důvodem byly aktuální možnosti laboratoře a malé množství testovaného oleje, kde jsem prováděl test v otevřeném kelímku. Olej by protekl viskozimetrem tak rychle, že by mé měření bylo značně nepřesné.

Referenční vzorek dosahuje **43,5 mm<sup>2</sup>/s**, v uzavřeném kelímku má podobných **43,75 mm<sup>2</sup>/s**, kdežto v otevřeném kelímku byla **46,6 mm<sup>2</sup>/s**.



## 4.6 Vibrodiagnostika [1], [9], [10]

### 4.6.1 Úvod do problematiky

Stav zařízení jsem určil pomocí vibrací, které jsem vyhodnotil dle pásem podle platné normy ČSN 10 816-7, z které jsem vycházel.

Tab. 9 - Doporučené efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací vstřikovacího lisu

Pásma	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]	Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
A	2,5	
B	4,0	0,5
C	6,6	2
D	> 6,6	> 4

**Pásmo A** – V tomto pásmu se objevují nové stroje.

**Pásmo B** – V této oblasti pracují stroje neomezeně dlouho.

**Pásmo C** – Tak vysoké vibrace nejsou vhodné pro dlouhodobý, trvalý provoz. Nejčastěji se však stroje nadále používají, dokud se nezajistí náhrada.

**Pásmo D** – Tyto hodnoty jsou velmi nebezpečné, hrozí poškození stroje.

Měření jsem provedl s přístrojem Adash A4400-VA4 Pro. Toto zařízení má 4 kanály pro vibrodiagnostiku. Jeho funkce jsou analyzování měřených signálů, rekordér a data kolektor. Jde s ním určit nevyváženost stroje, měřit hodnoty rozběhu a doběhu, akustické testy a další. Já využil 3 akcelerometry pro vertikální, horizontální a axiální směr. Tyto snímače se díky magnetu dobře umísťovaly na jednotlivé části stroje. Jen však bylo nutné tyto části řádně očistit.

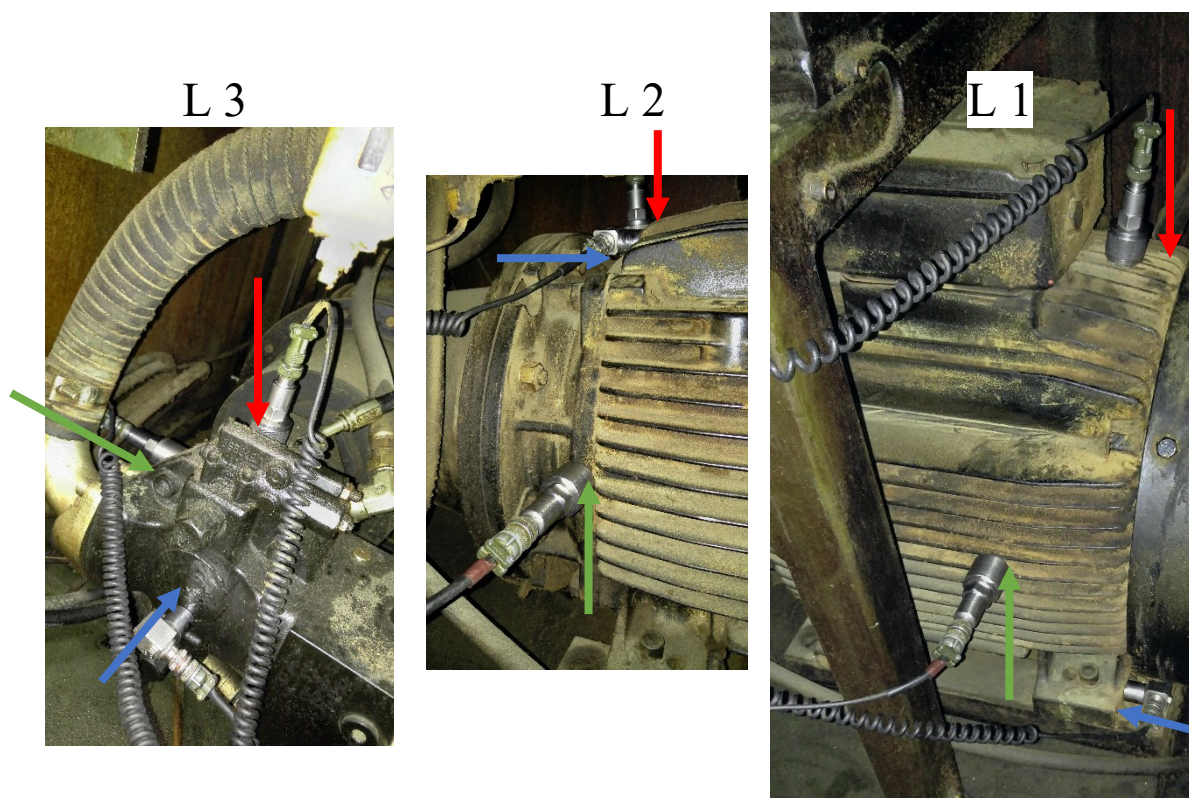
Pro vyhodnocení jsem použil software od společnosti Adash, který byl volně dostupný z webu, prostředí bylo shodné s analyzátozem.



Tentokrát jsem měřil pouze 2 vstříkovací lisy od výrobce Maplan, které mám možnost porovnat s výsledky před dvěma lety. Měřený elektromotor s čerpadlem jsem označil dle obrázku 56 níže. Zprava doleva, L1 a L2 elektromotor, L3 je pístové radiální čerpadlo.

Ve své bakalářské práci jsem měřil vstříkovací lis Maplan 10, který byl na pokraji před havárií. Tehdy jsem ho srovnával s Maplanem 8, který reprezentoval dobrý stav. Nyní bych chtěl poukázat na fakt, že Maplan 8 a Maplan 7 směřují ke stejnému stádiu jako Maplan 10.

Směry jsem rozlišil barevně: **vertikální**, **horizontální**, **axiální**.



Obr. 55 - Vstříkovací lis Maplan – poloha umístění snímačů vibrací [autor]

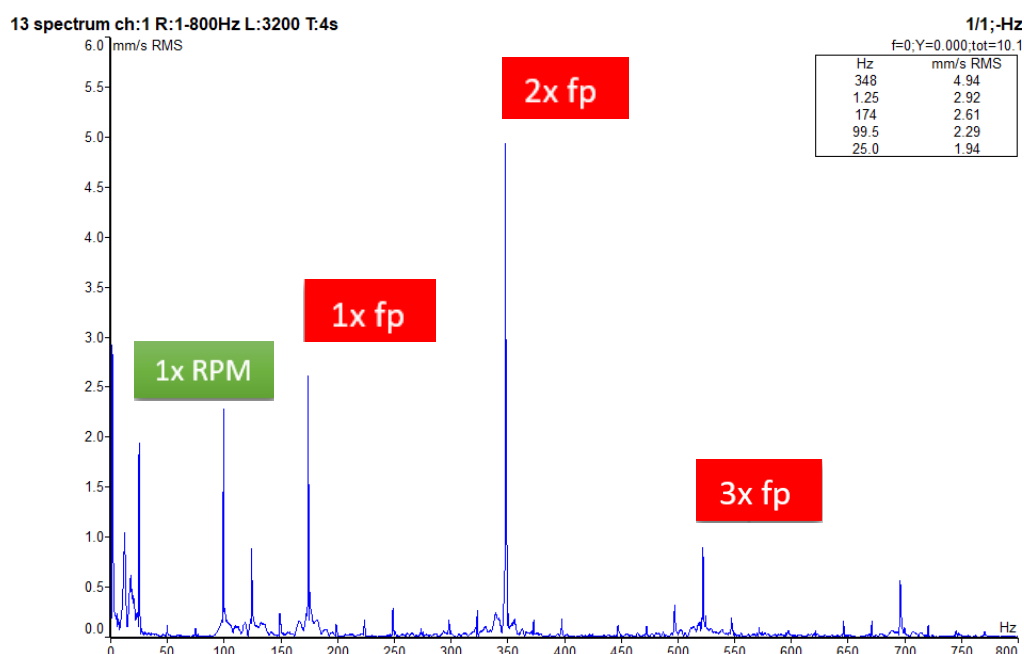
#### 4.6.2 Vstřikovací lis Maplan 10 (1998)

Maplan 10 obsahuje 45 kW elektromotor, který má 1470 ot./min. Jeho čerpadlo je sedmipístové.

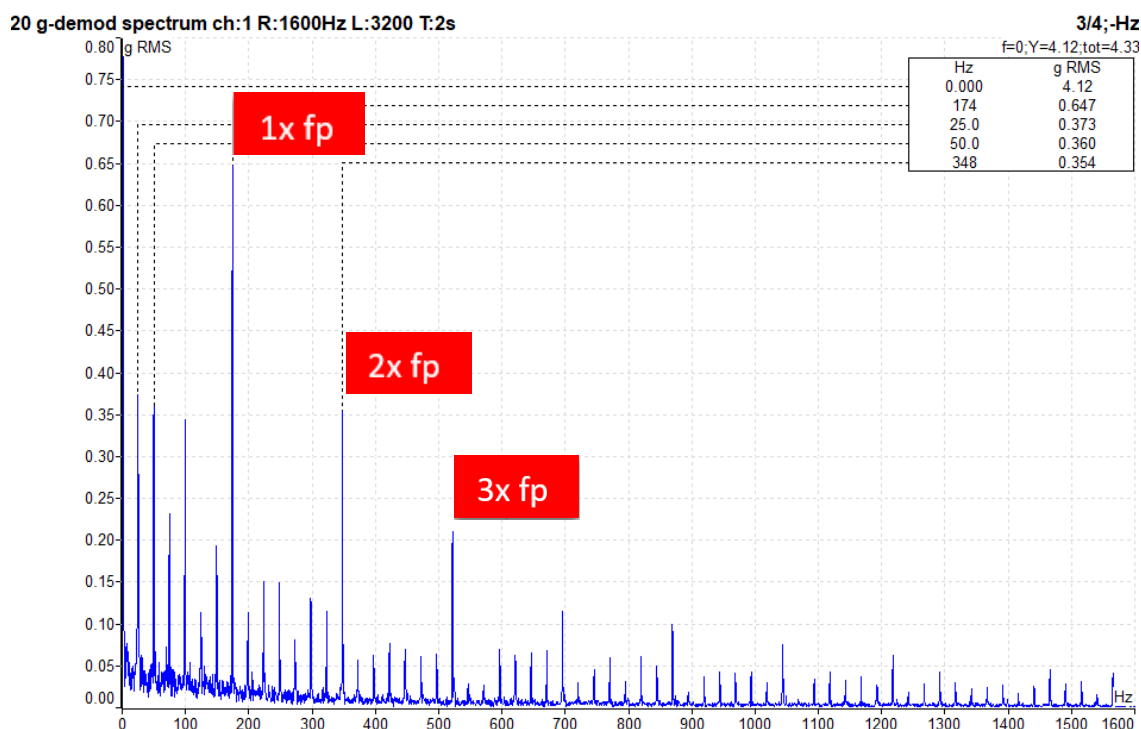
Níže můžeme sledovat hodnoty a grafy čerpadla, které po 9 dnech od měření odešlo, kdy mělo cca 60 000 h naběháno, což je téměř 7 let. Konkrétně praskl píst. Na obrázku obálkové metody vidíme řadu harmonických násobků s vysokou amplitudou. Na dalším obrázku jsou vidět vysoké projevy opotřebení.

Tab. 10 - Efektivních hodnot rychlosti a zrychlení vibrací lisu Maplan 10

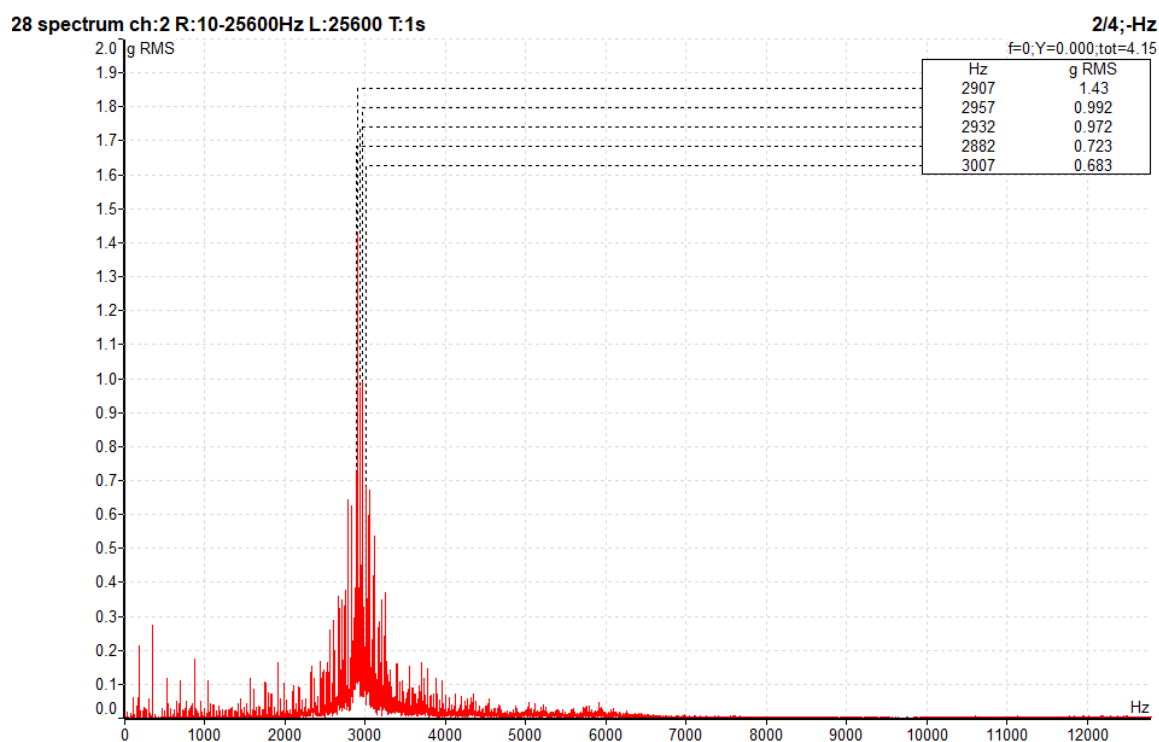
Maplan 10	Efektivní hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1 000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25 600 Hz ( $a_{RMS}$ ).			
Veličina	Směr	Motor		Čerpadlo
		L1	L2	L3
$v_{RMS}$ [mm/s]	Vertikální	1,73	1,89	10,00
	Horizontální	3,68	1,33	2,98
	Axiální	5,87	1,34	2,78
$a_{RMS}$ [g]	Vertikální	0,68	0,332	2,47
	Horizontální	0,75	0,25	4,03
	Axiální	0,80	0,23	2,33



Obr. 56 - Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací, Maplan 10, měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru a pásmu 1 - 800 Hz



Obr. 57 - Obálková metoda – Maplan 10 s nevyhovujícím stavem,  
měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru



Obr. 58 - Maplan 10 - frekvenční spektrum zrychlení v pásmu 10 – 25 600 Hz,  
představující stav před zadřením, měřeno v bodě L3 v horizontálním směru

#### 4.6.3 Vstřikovací lis Maplan 8 (2007)

Devítipístové radiální čerpadlo pohání 45 kW elektromotor s 1470 ot./min. Jde vidět otáčková frekvence motoru 25 Hz a její násobek 50 Hz v bodě L1 v axiálním směru, které způsobují nesouosost (již bylo vidět v roce 2015).

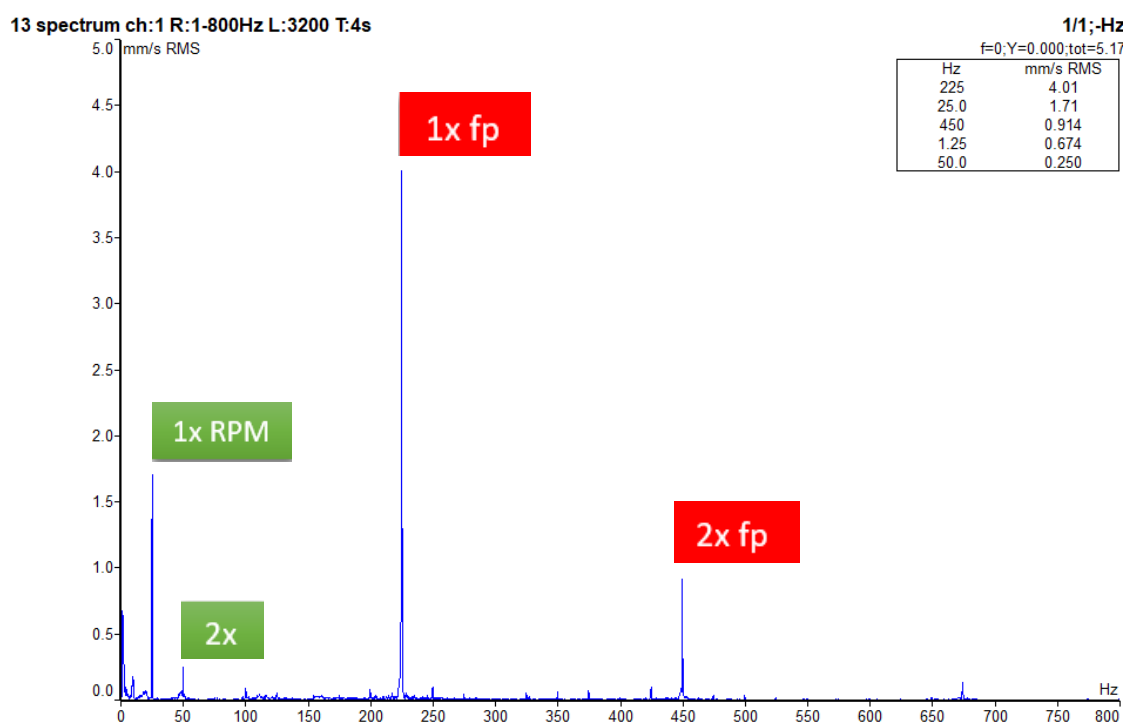
V březnu 2015 byla doba provozu 35 600 h = cca 4 roky. Nyní v listopadu 2017 je 49 550 h.

Tab. 11 - Efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací lisu Maplan 8

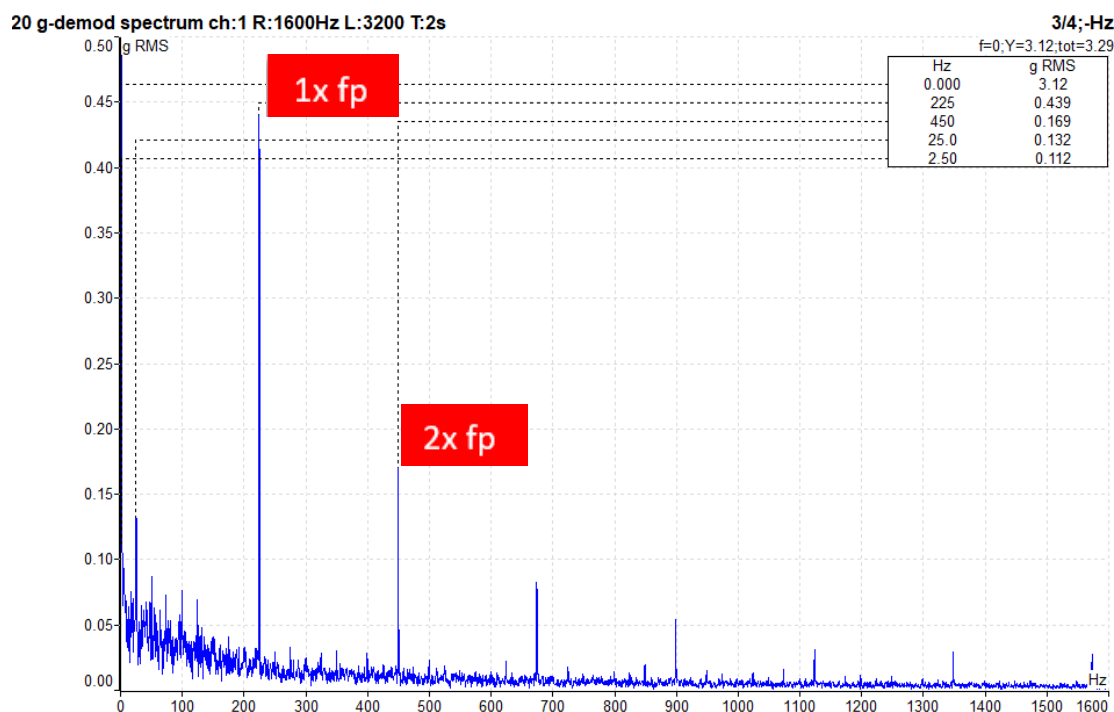
Maplan 8 2015	Efektivní hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1 000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25 600 Hz ( $a_{RMS}$ ).			
Veličina	Směr	Motor		Čerpadlo
		L1	L2	L3
$v_{RMS}$ [mm/s]	Vertikální	0,78	0,56	1,52
	Horizontální	1,71	1,11	1,20
	Axiální	2,78	0,33	0,68
$a_{RMS}$ [g]	Vertikální	0,38	0,22	0,49
	Horizontální	0,43	0,28	0,66
	Axiální	0,25	0,23	0,56

Tab. 12 - Efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací lisu Maplan 8

Maplan 8 2017	Efektivní hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1 000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25 600 Hz ( $a_{RMS}$ ).			
Veličina	Směr	Motor		Čerpadlo
		L1	L2	L3
$v_{RMS}$ [mm/s]	Vertikální	0,379	1,30	5,98
	Horizontální	1,68	1,50	2,45
	Axiální	2,19	1,06	2,46
$a_{RMS}$ [g]	Vertikální	0,680	1,49	1,63
	Horizontální	0,245	0,575	2,17
	Axiální	0,686	0,836	1,27

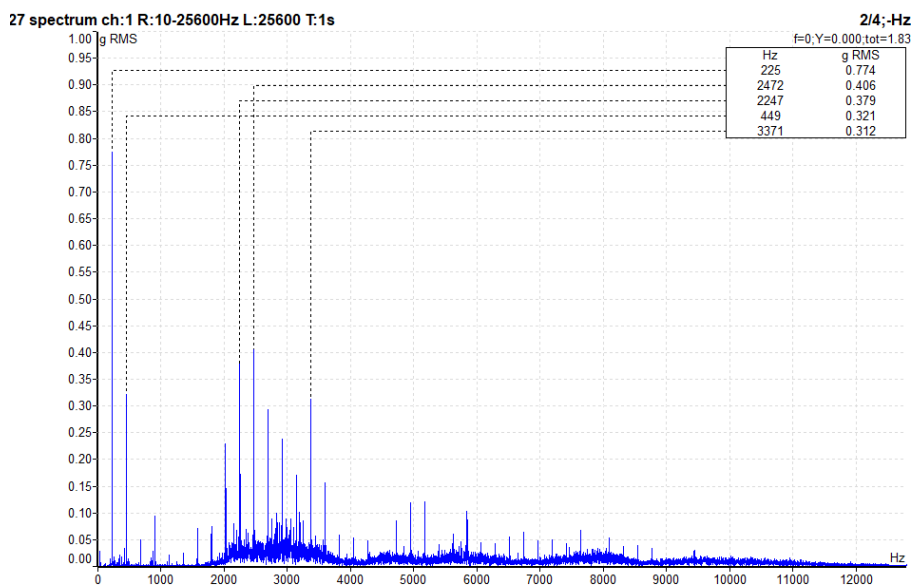


Obr. 59 - Frekvenční spektrum efektivních hodnot rychlosti vibrací, Maplan 8, měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru a pásmu 1 - 800 Hz



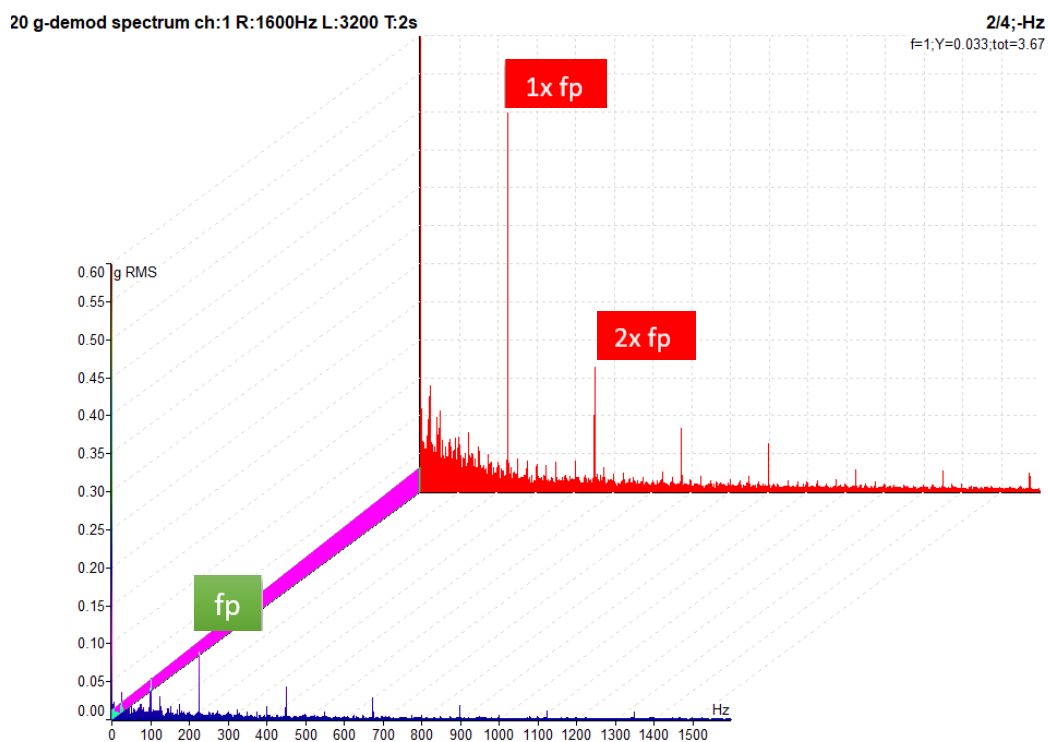
Obr. 60 - Obálková metoda – Maplan 8, měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru

Technický stav se projevuje mezi pásmy 2000 až 5000 Hz. Od pásma 5 000 Hz nahoru jsou vidět vysokopásmové vibrace.



Obr. 61 - Maplan 8 - frekvenční spektrum zrychlení v pásmu 10 – 25 600 Hz, měřeno v bodě L3 v horizontálním směru

Na obr. 63 jde vidět výrazný nárůst špiček na pístových frekvencích. Hrozí zadření, odhadově do půl roku.



Obr. 62 - Obálková metoda srovnání v čase – Maplan 8, měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru

#### 4.6.4 Vstřikovací lis Maplan 7 (2007)

Vstřikovací lis je shodný s Maplanem 8. Za 20 měsíců se jeho stav rapidně zhoršil. Na závěr uvidíme srovnání v obálkové metodě s Maplanem 8 ve stavu v roce 2015 i porovnání s Maplanem 10, který byl na pokraji životnosti.

V březnu 2015 byla doba provozu 35600 h = cca 4 roky. Nyní v listopadu 2017 je 49 875 h.

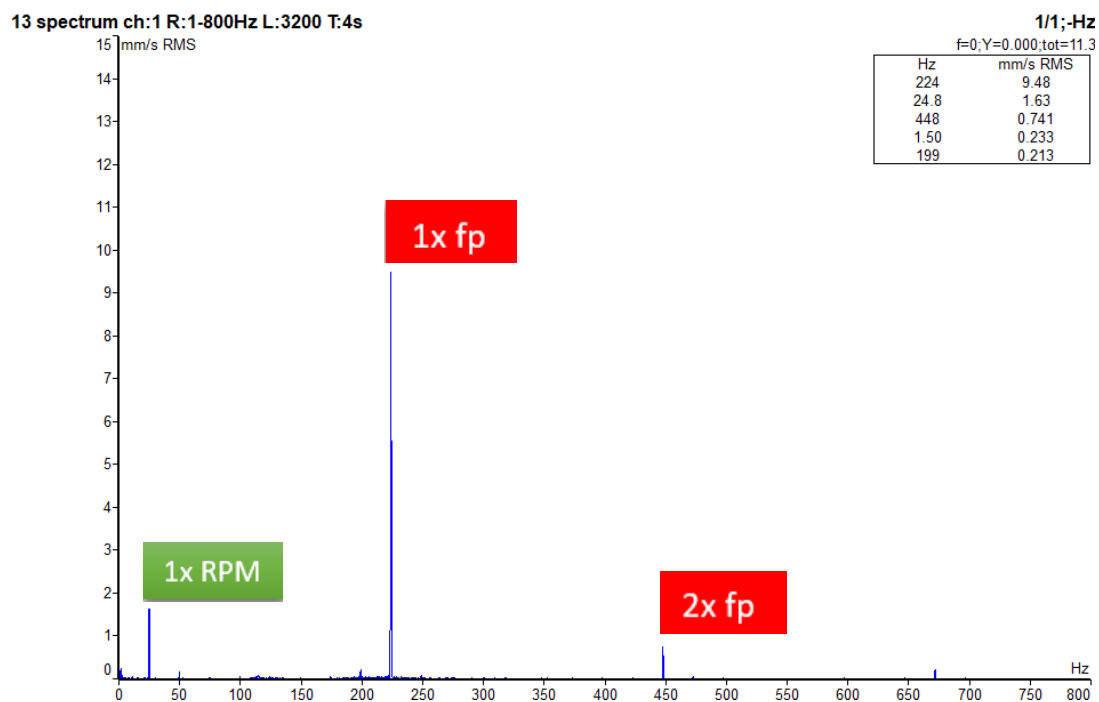
Tab. 13 - Efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací lisu Maplan 7

Maplan 7 2015	Efektivní hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1 000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25 600 Hz ( $a_{RMS}$ ).			
Veličina	Směr	Motor		Čerpadlo
		L1	L2	L3
$v_{RMS}$ [mm/s]	Vertikální	0,36	1,07	2,62
	Horizontální	2,30	1,13	2,15
	Axiální	1,74	2,22	1,40
$a_{RMS}$ [g]	Vertikální	0,36	0,87	1,35
	Horizontální	0,32	0,41	1,69
	Axiální	0,27	0,41	1,60

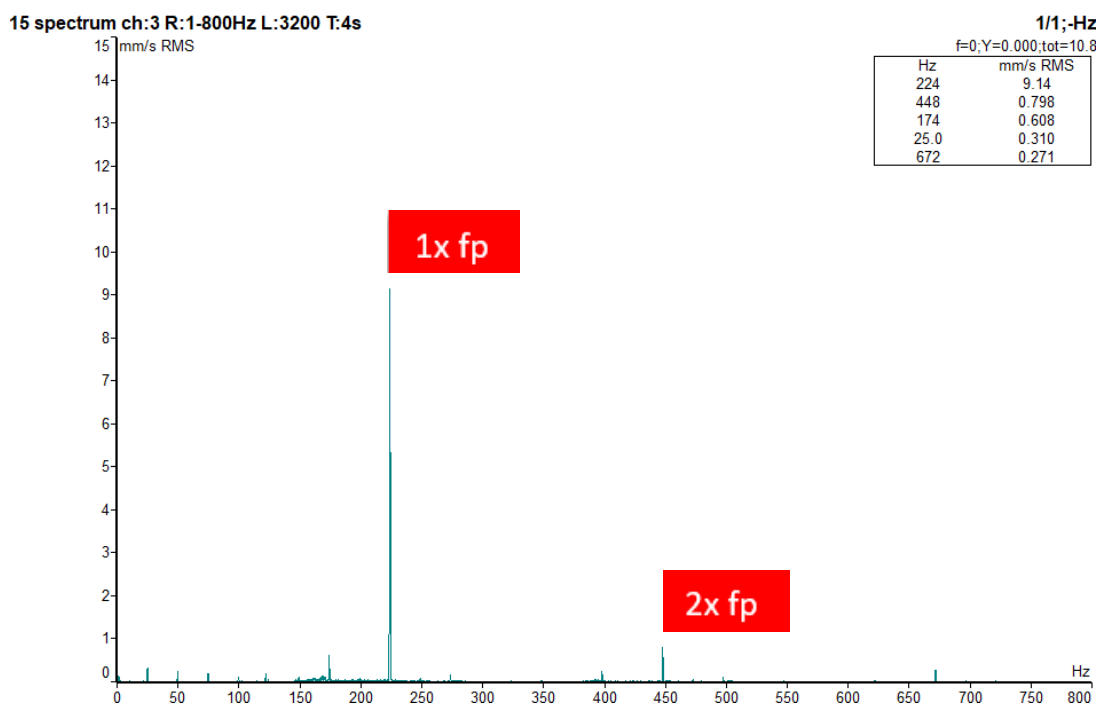
Tab. 14 - Efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací lisu Maplan 7

Maplan 7 2017	Efektivní hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1 000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25 600 Hz ( $a_{RMS}$ ).			
Veličina	Směr	Motor		Čerpadlo
		L1	L2	L3
$v_{RMS}$ [mm/s]	Vertikální	0,38	1,30	11,40
	Horizontální	1,68	1,50	3,00
	Axiální	2,19	1,06	10,80
$a_{RMS}$ [g]	Vertikální	0,680	1,49	2,26
	Horizontální	0,245	0,575	4,53
	Axiální	0,686	0,836	2,76

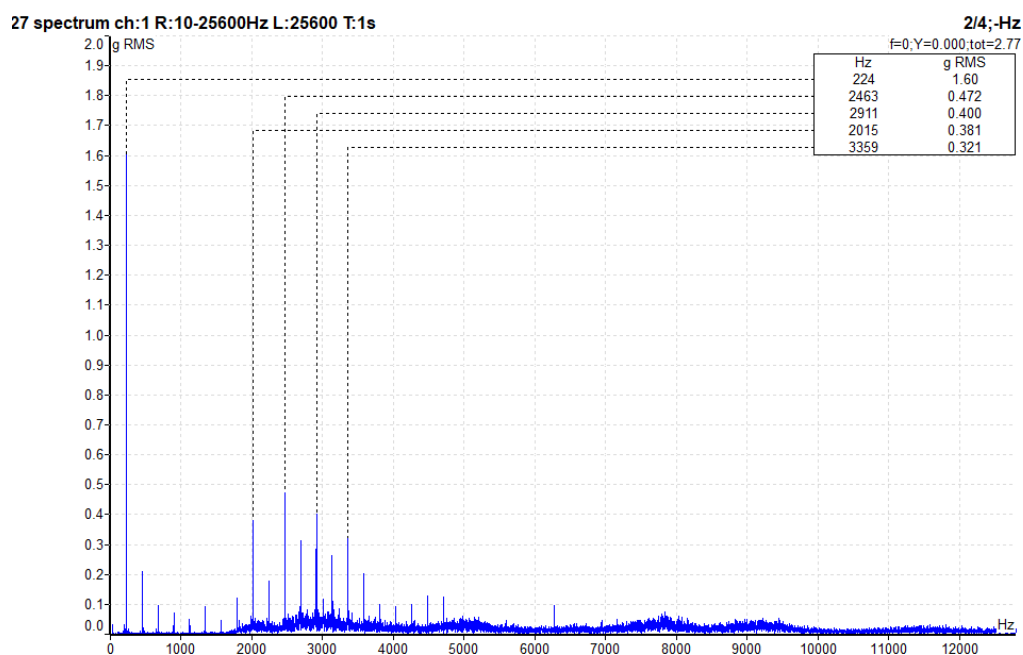




Obr. 63 - Frekvenční spektrum efektivních hodnot rychlosti vibrací, Maplan 7, měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru a pásmu 1 - 800 Hz

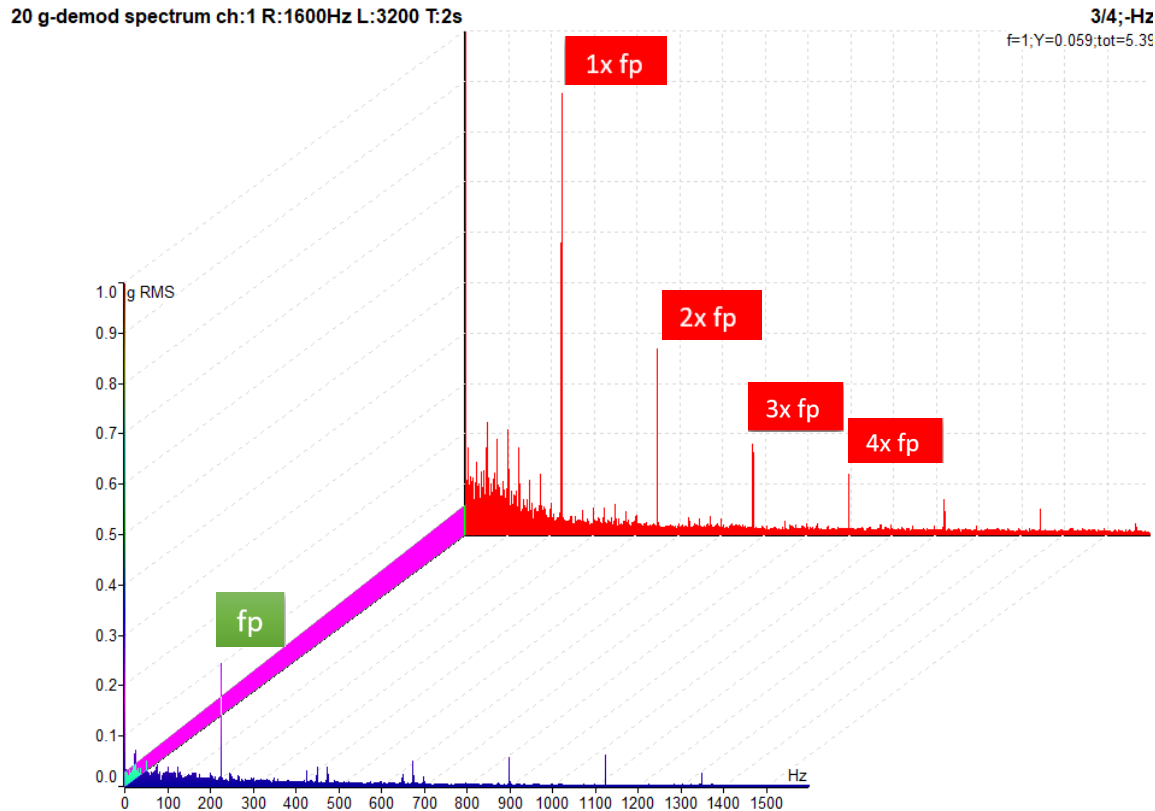


Obr. 64 - Frekvenční spektrum efektivních hodnot rychlosti vibrací, Maplan 7, měřeno v bodě L3 v axiálním směru a pásmu 1 - 800 Hz



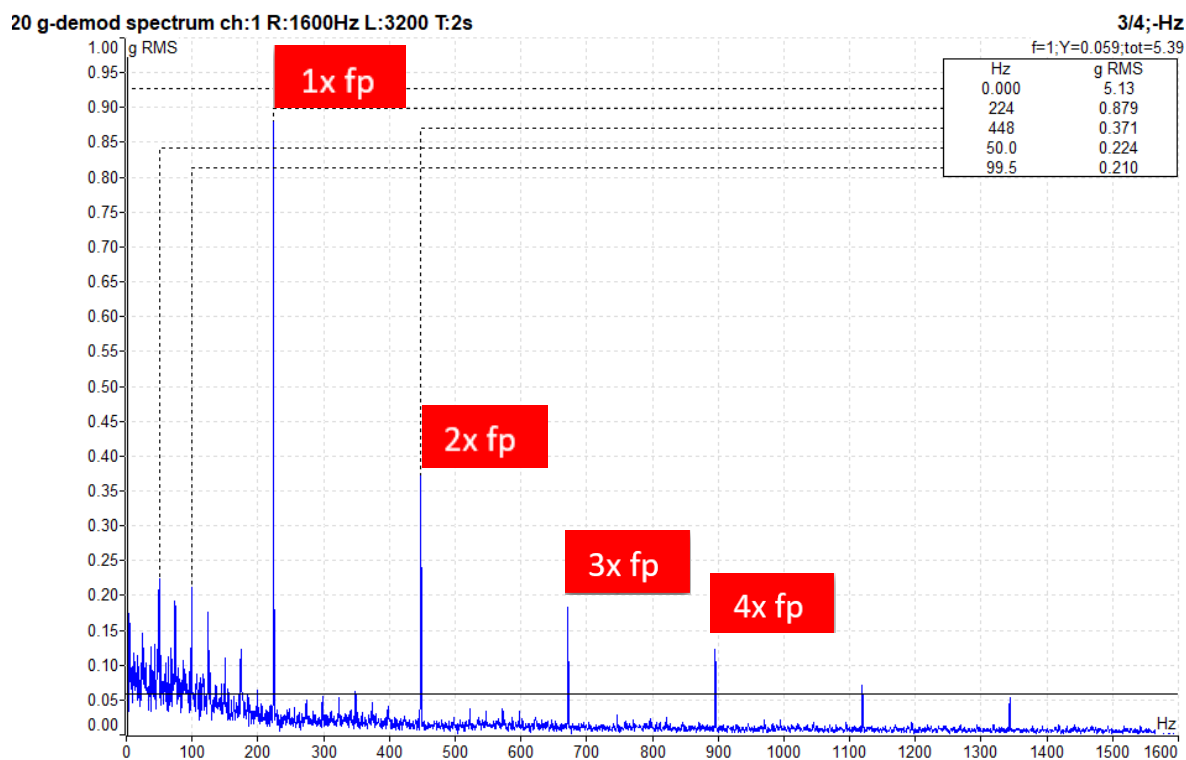
Obr. 65 - Maplan 7 - frekvenční spektrum zrychlení v pásmu 10 – 25 600 Hz,  
měřeno v bodě L3 v horizontálním směru

Obdobně jako u M8 jde vidět výrazný nárůst špiček na pístových frekvencích, hrozí zadření. Modrý graf značí stav čerpadla před 20 měsíci.

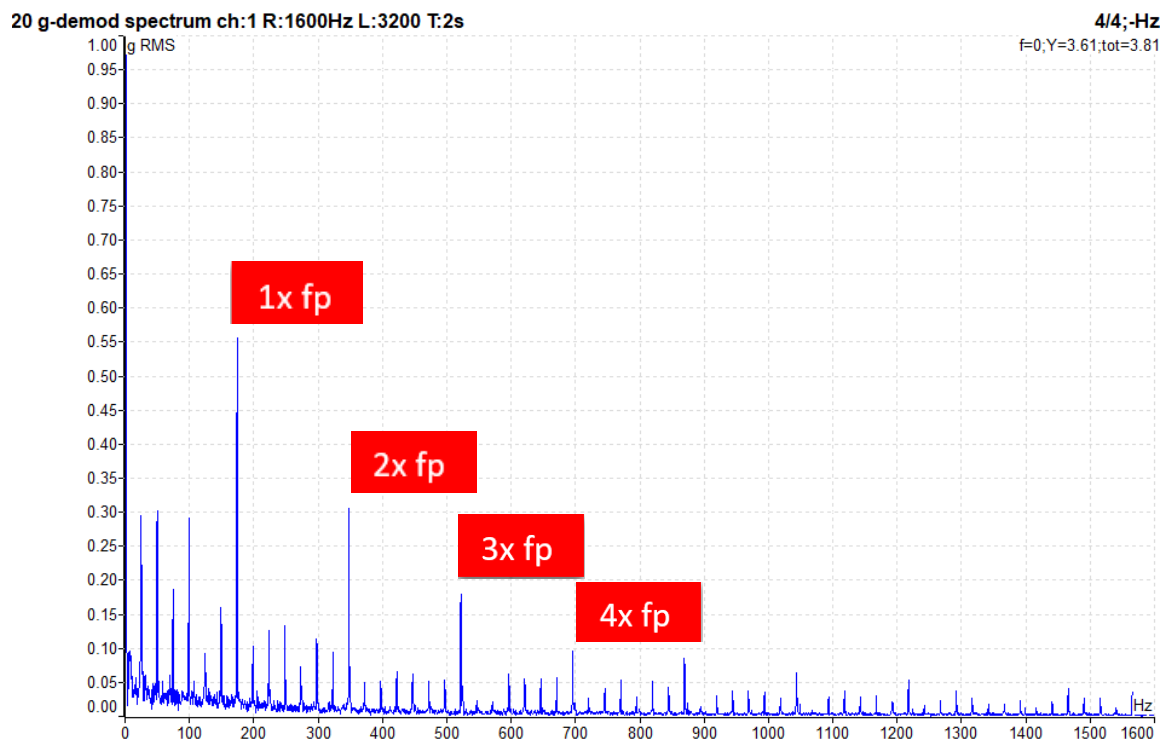


Obr. 66 - Obálková metoda srovnání v čase – Maplan 7,  
měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru

Na obou obrázcích vidíme řady harmonických násobků. Jde vidět, že Maplan 10 před zadření vypadal daleko hůře. Předpokládám, že se v nejbližších měsících Maplan 7 bude přibližovat Maplanu 10.



Obr. 67 - Obálková metoda – Maplan 7, měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru

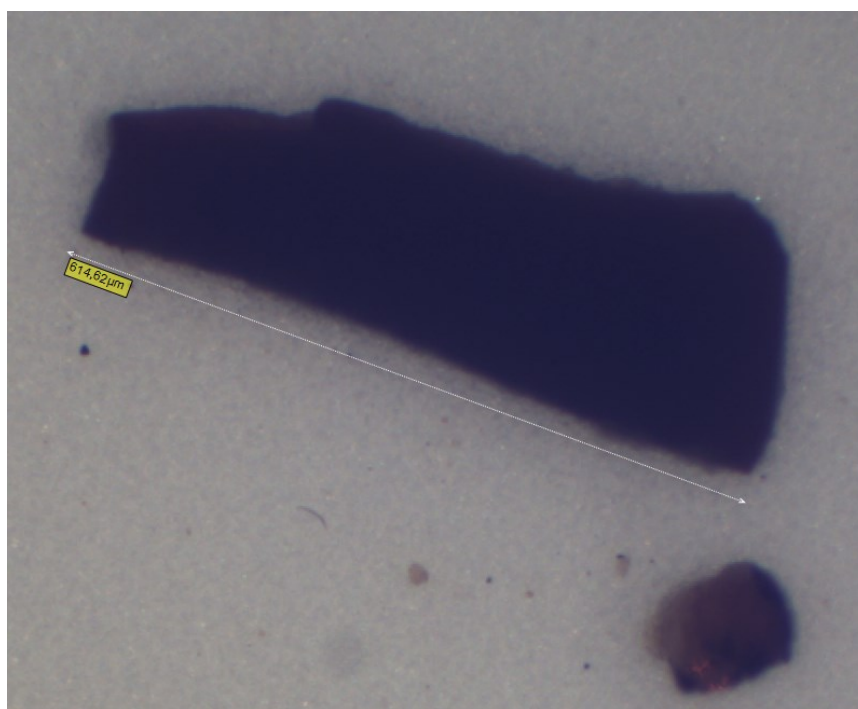


Obr. 68 - Obálková metoda – Maplan 10 s nevyhovujícím stavem, měřeno v bodě L3 ve vertikálním směru

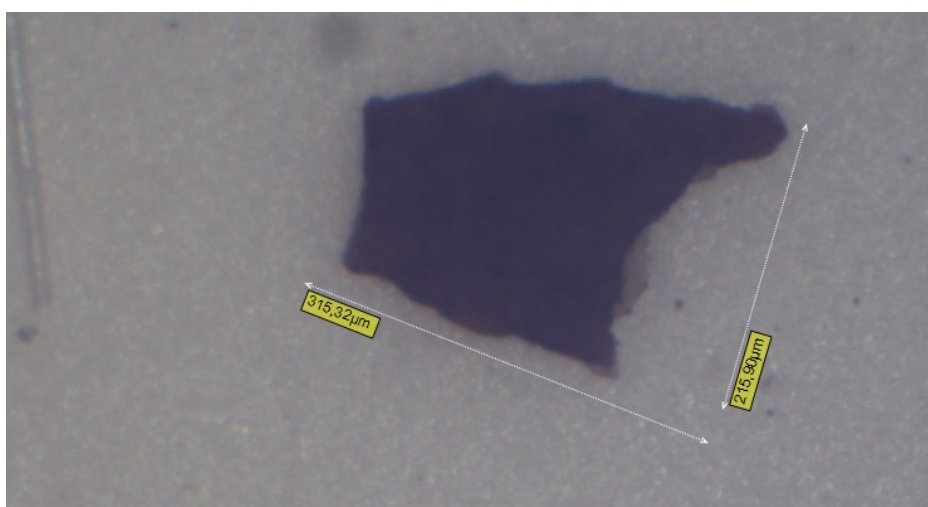
## 5. Závěr

Samotné skladování hydraulických olejů se oproti minulým letem mírně zlepšilo. Nicméně stále navrhuji vhodné prostředí, které je aklimatizované, čisté, suché a je chráněno proti slunečnímu záření a mechanickým nečistotám, jako je tomu např. u skladování teplotnosného oleje.

Hydraulický olej má menší, ale stále příliš vysoké množství mechanických nečistot, na obrázku níže je snímek filtru z mikroskopu, který obsahuje velké částice.



Obr. 69 – Hydraulický referenční vzorek - filtr pod mikroskopem 1 [autor]



Obr. 70 – Hydraulický referenční vzorek - filtr pod mikroskopem 2 [autor]



*Obr. 71 - Sklad teplotnosného oleje [autor]*



*Obr. 72 – Sklad hydraulického oleje [autor]*

K vyhodnocení hydraulických čerpadel bych vyzdvihl důležitost multiparametrické diagnostiky, bez které bych za předpokladu použití tribodiagnostiky nezjistil, že čerpadla mají větší část života za sebou. Vzhledem k vysokým vibracím a zkušenostem z bakalářské práce, bych doporučil čerpadla rozebrat a vyčistit od částic uvnitř, které nejdou ven do okruhu, tím by se mohlo zabránit blížící se havárii.

Závěrem bych se chtěl podělit o zkušenosti s teplotnosným olejem u plastikační jednotky. U prvního odebraného vzorku teplotnosného oleje jsme se prvně rozhodli změřit kód čistoty, který se prováděl pomocí mikroskopu. Před samotným měřením jsme provedli filtraci, po které jsme se rozhodli, že nemá smysl test provádět, protože filtr byl tak zanesen, že jsme poté spíše porovnávali barevnost filtrů. Pod mikroskopem jsme viděli částice různých tvarů a velikostí. Po čemž jsme uvažovali, že by mohl být problém ve směsi, kterou hněte vstřikovací lis a z ní pak následně vlivem vulkanizace vzniká pryž. To jsme však vyvrátili po získání podkladů a konzultací s firmou. Vlivem směsi to nemůže být, protože není možné, aby se dostala směs do styku s olejem. Pokud by se tak stalo, znamenalo by to, že došlo k prasknutí obalu šnekového mechanismu. V takovém případě by to obsluha stroje okamžitě zjistila, neboť by přestal vstřikovací lis fungovat.

Prvková analýza neukázala, kde by mohl být problém. Prvním ukazatelem byl zvýšený kód čistoty, který byl měřen pomocí mikroskopu. Bylo detekováno velké množství částic velkých i 800 mikrometrů. Firma sice provádí pravidelné výměny oleje i filtrace, to však neřeší problém z dlouhodobého hlediska, protože dochází k zanesení a ucpání okruhu. Pomocí FT-IR jsme se pokusili odhalit příčinu částic. Zjistili jsme, že vlivem oxidace a nitrace olej degraduje. U ostatních strojů dopadly testy velmi podobně, můžeme u nich sledovat odlišné stupně vývoje degradace.

Na otázku proč olej degraduje, se objevuje spousta příčin. Zajímavé je konstrukční řešení u stroje Rep, kde je degradace mnohem nižší. Usazeniny se netvoří zřejmě proto, že se okruh neucpává a stačí dodržovat výměnu jednou ročně.

Výrobce dle technického listu udává, že teplotnosný olej odolává teplotám až 320 °C. Není přesně popsáno, zda je výrazně nutné hermetizování. To však ani nádrže temperačních okruhů neumožňují. Vlivem toho vzniká degradace atmosférickým kyslíkem a dusíkem. Proto jsme se pokusili o experiment, jak velký vliv má hermetizace oleje při poloviční hraniční teplotní hodnotě.



V laboratorních podmínkách se v sušící peci testoval referenční olej při teplotě 150 °C v otevřeném kelímku. Neočekávali jsme, že bude mít životnost oleje až tak rychlý spád. Po jednom dnu byla vidět změna oleje pouhým pohledem na vzorkovnici, olej začal pomalu degradovat. Po dvou dnech se pomalu začala projevovat karbonizace. Třetím dnem už byla vidět jasná karbonizace oleje. Čtvrtý den má již olej velmi tmavou barvu. Po sedmi dnech přestal být průhledným. Měřil se pravidelně kód čistoty, kyselost i FT-IR spektrum. Poslední měření se provedlo 14. den, degradovaného oleje již zbyla jen troška. Kód čistoty zobrazil třídu: 27/27/25. Z výsledků bylo zřejmé, co způsobuje degradaci. Proto jsme se rozhodli pro další zkoumání, tentokrát v kelímku uzavřeném. Z časových důvodů a možností laboratoře se mi nepodařilo o plnou hermetizaci. K dokonalému testu hermetizovaného okruhu bychom potřebovali kelímek s víkem, který vydrží tlak při teplotě 150 °C. Pro dokonalé srovnání s otevřeným kelímkem, bych takových kelímků potřeboval 14. Nakonec jsme si vystačili s jedním, který byl pouze částečně hermetizován. I tak byly výsledky uspokojivé. Vzorkovnice zůstala po 14-ti dnech průhledná, kód čistoty měl třídu 15/14/13, což je velmi blízké referenčnímu. Věřím, že plně hermetizovaný olej by měl ještě lepší výsledky. Jistě by byl zajímavý test v otevřeném kelímku při teplotě 90-100 °C, jelikož se jedná o provozní teplotu v temperačním zařízení. V případě nedegradování oleje by firma z ekonomického pohledu nemusela uvažovat nad hermetizací okruhu, ale pouze nad pravidelným a hlavně důkladným čištěním okruhu.

Má doporučení jsou následující:

- omezit přísun vzduchu, ideálně hermetizovat
- použít olej, který je schopen odolávat atmosférickým podmínkám (aditivován proti degradaci oleje)
- umístit regulační čidla, zejména v nádrži, aby olej nepřesáhl nezbytně nutnou teplotu, která se rovná cca 90 °C
- průchozí okruh, tedy čisté cesty aby olej správně proudil a zahříval šnekový mechanismus
- kontrolovat čistotu oleje, nejdříve každé 3 měsíce, dokud se neodstraní problém tak, aby nedocházelo k ucpání.



### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Blatovi, Ph.D. a Ing. Davidu Šeděnkovi za potřebné konzultace a profesionální vedení při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jakubovi Hradilovi a pracovníkům firmy SumiRiko AVS Czech s.r.o. Drnovice za cenné rady, vstřícnost a poskytnutí podkladů.

## Seznam použité literatury

- [1] VANĚK, Josef. Návrh diagnostického systému klíčových výrobních strojů. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [2] Podklady firmy SumiRiko AVS Czech s. r. o. Drnovice
- [3] Podklady firmy FUCHS OIL CORP. (CZ), spol. s. r. o.
- [4] MOOG - RKP - II pumps. In: RADIAL PISTON PUMPS RKP - II [online]. 2007 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.moog.com/literature/ICD/Moog-Pumps-RKP-II-SF-Catalog-en.pdf>
- [5] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej : teorie a praktyka. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013, 130, 135 s. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [6] KREIDL, Marcel. Diagnostické systémy. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 352 s. ISBN 8001023494.
- [7] Helebrant,F., Ziegler,J., Marasová,D.: Technická diagnostika a spolehlivost – I.Tribodiagnostika. VŠB-TU Ostrava 2000, I.vydání, 153 s., ISBN 80-7078-883-6
- [8] HELEBRANT, CSC., Doc. Ing. František, Ing. Ladislav HRABEC, PH.D. a Ing. Jan BLATA, PH.D. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ [online]. 2013, 217 s. [cit. 2015-04-23]. ISBN 978-80-248-3028-5. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20%C3%BAdr%C5%BEba%20stroj%C5%AF.pdf>
- [9] Analyzátor vibrací Adash [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://adash.com/cs/prenosne-merici-systemy/a4400-va4-vibracni-analyzator>
- [10] Metody technické diagnostiky [online]. 2010 [cit. 2015-05-03]. ISBN 978-80-248-2735-3. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2735-3.pdf>

## Seznam příloh

- [A] SPECTRO X-LabPro Fuchs Renolin Therm 320
- [B] SPECTRO X-LabPro Therm - prasek
- [C] SPECTRO X-LabPro Therm - smes referencniho oleje s praskem
- [D] SPECTRO X-LabPro Therm - Maplan 9\_1 (1)
- [E] SPECTRO X-LabPro Therm - Maplan 9\_1 (2)
- [F] SPECTRO X-LabPro Therm - Maplan 37
- [G] SPECTRO X-LabPro Therm - Desma 32
- [H] SPECTRO X-LabPro Therm - Desma 31
- [I] SPECTRO X-LabPro Therm - Desma 24
- [J] SPECTRO X-LabPro Therm - Rep 41
- [K] SPECTRO X-LabPro Therm - Rep 43
- [L] SPECTRO X-LabPro Mogul HM46 referencni
- [M] SPECTRO X-LabPro Hydraulic - Maplan 7
- [N] SPECTRO X-LabPro Hydraulic - Maplan 8